R. WIGAND

RADIOTECNICA

PARTE I

CONCETTI FONDAMENTALI

I°

EDITRICE IL ROSTRO MILANO

ROLF WIGAND

H. SUTANER

RADIOTECNICA

Parte prima

CONCETTI FONDAMENTALI

I°

EDITRICE IL ROSTRO MILANO

1958

Titolo originale dell'opera
RUNDFUNKTECHNIK
Einführung und praktischer Wegweiser
Grundlagen Teil I
ALBRECHT PHILLER - VERLAG, MINDEN (WESTF)

Traduzione di **Giuseppe Baldan**

Tutti i diritti riservati alla
Editrice il Rostro

Tipografia Edizioni Tecniche - Via Baldo degli Ubaldi, 6 - Milano

INDICE

1. Premessa VII
2. L'esperienza della penna stilografica 1
3. I due tipi di elettricità 2
4. Che cos'è in pratica l'elettricità 4
5. Misuriamo l'elettricità 6
6. I condensatori elettrici 7
7. Condensatori per la tecnica radio 11
8. La corrente elettrica 15
9. Altre sorgenti di elettricità 23
10. A cosa serve la legge di Ohm 29
11. Resistenze nella tecnica radio 33
12. L'effetto termico della corrente elettrica 36
13. L'amperometro a filo caldo 38
14. Metodi di misura delle resistenze 40
15. L'effetto magnetico della corrente 43
16. Il campo magnetico della corrente 52
17. La corrente indotta 54
18. Corrente alternata frequenza 57
19. La tracciatura delle oscillazioni 59

L'opera completa comprende:

1. Concetti fondamentali I N. 2001
2. Concetti fondamentali II N. 2003
3. Antenne, Onde, Raddrizzatori N. 2005
4. Amplificatori per alte e basse frequenze N. 2007
5. Tubi in reazione - Trasmettitori e ricevitori moderni N. 2009

PREMESSA

La tecnica della radiocomunicazioni intesa come campo particolare della tecnica delle telecomunicazioni elettriche abbraccia quasi tutti i fenomeni elettrici. Perciò chi vuole avere un sicuro successo nella radiotecnica, deve prima comprendere e conoscere i principi fondamentali dell'elettrotecnica. Solo basandosi su queste conoscenze indispensabili gli sarà più facile la trattazione anche delle questioni più complicate.

E' con questa convinzione che l'autore si è assunto il compito di famigliarizzare il lettore dapprima con i principi fondamentali dell'elettrotecnica e di spiegarli i molti termini tecnici che gli sarà dato di incontrare via via anche nella vita di ogni giorno e poi di accompagnarlo nell'esteso e multiforme campo della radiotecnica. La trattazione della materia è stata svolta tenendo presente che si dovevano evitare delle esposizioni troppo aride per non annoiare il lettore e che si dovevane introdurre fra gli argomenti teorici anche dei capitoli pratici per tenere sempre vivo il collegamento con la realtà.

Rolf Wigand

L'esperienza della penna stilografica

Molti posseggono oggi una penna stilografica, essa qualche volta è nera e qualche altra è colorata. Il materiale è di solito ebanite ma può anche essere resina sintetica, cellon ecc. Specialmente con le penne di ebanite e di resina sintetica si osserva che quando si tolgono dal taschino sono completamente impolverate. Se si puliscono con la mano si nota che la polvere viene asportata ma la superficie non resta più così lucida.

Prendiamo quindi un panno di lana, lucidiamo nuovamente la penna e appoggiamola sul tavolo. Se la osserviamo dopo un po' dovremo scuotere la testa e dire che su essa si è posata ancora la polvere. Gli stessi fenomeni si possono riprodurre anche con un bocchino di pipa in ebanite. Nessuno sospetterà che questi fenomeni nascondono i principi fondamentali della radiotecnica. E invece è proprio così!

Strofinando una penna in ebanite o in cellon con un panno di lana si può metterla in condizione (l'esperimento riesce meglio con l'aria secca) di attirare e di tenere sollevati dei pezzettini di carta. Questa proprietà sparisce solo se si passa la mano sui punti strofinati.

I greci antichi avevano scoperto questa proprietà nella ambra. Poichè in greco l'ambra si dice elektron si chiamò più tardi elettricità la causa dell'attrazione di piccoli oggetti. Anche la nostra penna o il nostro bocchino è diventato elettrico a causa dello strofinio con la stoffa della tasca e attira le piccole particelle di polvere che sono sempre presenti nell'aria e che finiscono con l'aderire ad esso.

Sono passati molti secoli da questa scoperta nella Grecia antica e da lungo tempo gli scienziati di tutti i paesi civili si occupano delle ricerche sull'essenza dell'elettricità, ma

ancor oggi non sappiamo dire con esattezza cosa significhi « elettrizzare ». Forse l'umanità non arriverà mai a scoprire tutto. Essa è di solito abituata a costruire alcune « ipotesi » ed a servirsi di loro per spiegare via via tutti i fenomeni che i incontrano, fino a che non si presenta qualche caso che non si adatta più allo schema, si rende allora necessario allargare una ipotesi già esistente oppure si arriva persino a invertire la valutazione dei fatti e a creare una nuova ipotesi. A questo proposito ricordiamo che negli ultimi decenni abbiamo assistito ad un notevole progresso nel campo fotografico, però il fatto fondamentale, precisamente la presenza dell'immagine sulla lastra esposta, immagine che tuttavia non si vede, non è ancor oggi esaurientemente chiarito. Così come non è ancor oggi possibile, nonostante l'alto livello raggiunto dalla scienza, rispondere in modo sicuro alla domanda: « Perchè un pezzo di ambra o di lacca, un pezzo di vetro ed una penna stilografica diventano elettrici se si strofinano con un panno di lana o di seta o con un pezzo di pelliccia »; si sa solo che è così e si sono inventate delle ipotesi che possono rendere comprensibile il fenomeno. Noi ne parleremo però più tardi. Ora vogliamo parlare prima di un'altro fenomeno che dovremmo avere già notato.

I due tipi di elettricità

Se strofiniamo un bastone di ebanite esso si elettrizza ed attira dei pezzettini di carta. Se si strofina un bastone da vetro succede lo stesso. Ambedue si sono elettrizzati a causi dello strofinio. I bastoni non strofinati non hanno alcun comportamento elettrico. Trasferiamo ora una parte della « carica » elettrica da un bastone di ebanite ad una piccola pallina appesa con un filo isolante e facciamo lo stesso per il bastone di vetro e un'altra pallina, vedremo che questi corpi

elettricamente caricati. si attraggono. Se invece la palline sono toccate ambedue dal bastone di ebanite o ambedue da quello di vetro esse si respingono. Deve quindi esserci una differenza fra l'elettricità del vetro e quella dell'ebanite.

Si è convenuto di chiamare *positiva* (+) l'elettricità del vetro e *negativa* (—) quella dell'ebanite. L'esperienza mostra chiaramente che due corpi caricati con elettricità di nome opposto (+ e —) si attraggono nello stesso modo che il polo Nord di un ago magnetico viene attirato dal polo Sud di una calamita e che due corpi caricati con elettricità dello stesso nome (+ e + o — e —) si respingono così come il polo Nord di un magnete respinge il polo Nord dell'ago della bussola.

È chiaro che i corpi caricati elettricamente si attirano o respingono con una forza che dipende dalla quantità di elettricità e che questa forza è tanto maggiore quanto minore è la distanza fra questi due corpi. Così come occorre una forza per sollevare un corpo vincendo la forza di attrazione della terra si deve pure impiegare una forza per allontanare due corpi caricati di elettricità opposta o viceversa per avvicinare due corpi caricati con lo stesso tipo di elettricità. La forza di attrazione viene sfruttata per la misura della carica negli « *elettrometri* » (detti anche *voltmetri statici*). Poniamo di fronte ad una piastra fissa (fig. 1) collegata ad un morsetto,

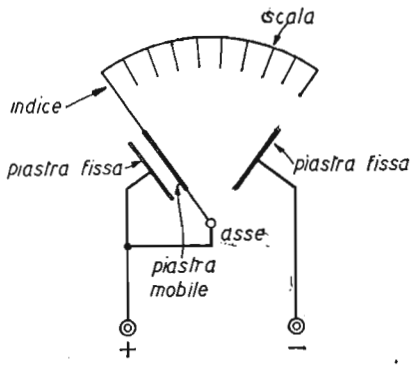

Fig. 1

una piastra girevole attorno ad un asse pure collegata allo stesso morsetto e mantenuta nella posizione di riposo (vicina alla piastra fissa) da una molla a spirale. Se trasmettiamo una certa carica elettrica e questa due pistre essa si ripartirà fra loro e le due piastre si respingeranno con una forza che dipende dalla catica. Questo effetto viene aumentato se si aggiunge una seconda piastra fissa caricata con elettricità di segno opposto e che quindi attira la piastra mobile.

Che cos'è in pratica l'elettricità

Se osserviamo da una certa distanza un mucchietto di zucchero non riusciamo a distinguere alcun dettaglio. Solo se ci avviciniamo di più ci accorgiamo che il mucchietto di zucchero è composto da singoli cristalli di zucchero. Se ne prendiamo uno e lo rompiamo otteniamo degli altri corpi cristallini più piccoli fino ad arrivare a del materiale finissimo che però resta sempre zucchero, come si può riconoscere osservandolo con una lente o con un microscopio. Anche se si immagina di continuare a rompere queste particelle microscopiche di zucchero non c'è niente che ci possa far prevedere che improvvisamente non avremo più zucchero. Quelle particelle infinitesime di zucchero che non si possono più vedere nemmeno con il microscopio più potente e che non si possono più dividere meccanicamente si chiamano « *molecole* ». Se però si attacca chimicamente una molecola di zucchero si nota facilmente che essa si può dividere in acqua e carbone.

Il carbone non è più divisibile con alcun mezzo chimico. Anche le particelle più infinitesime che sono ancor più piccole delle molecole sono sempre carbone. Invece l'acqua si può ulteriormente scindere in ossigeno e idrogeno che però non sono più divisibili in altre sostanze. La particella più

piccola di una sostanza non più divisibile (di un cosidetto *elemento*) si chiama *atomo*. Per dare un'idea della piccolezza dell'atomo diremo che in un dado di rame di 1 cm. di lato si trovano 1.000.000.000.000.000.000.000.000 atomi di rame. Ma la scienza non si è fermata qui, essa è penetrata anche nell'intima essenza dell'atomo. Oggi si suppone infatti che l'atomo sia formato da un nucleo attorno al quale ruotano delle particelle più piccole (come i pianeti attorno al sole). Queste particelle considerate come portatrici di cariche elettriche sono state chiamate « *elettroni* » dal nome greco dell'ambra. Per dimostrare quanto sono minuti e leggeri diremo che se noi prendiamo un numero di elettroni pari al numero di ciliege che potrebbero essere contenute nell'interno del globo terrestre ci accorgiamo che essi pesano solo 1 grammo.

Naturalmente è indifferente dire « il termometro segna 0^0 Celsius » o « sono + 32 gradi Fahrenheit ». Nella scienza si indica la stessa temperatura con + 273 gradi assoluti. La stessa grandezza viene misurata a partire da punti diversi. Le temperature basse che nella scala Celsius hanno il segno meno (—) nella scala assoluta hanno sempre il segno più (+). Quel che varia è solo il punto a cui ci si riferisce per fare la misura.

Se si carica elettricamente un corpo si rompe l'equilibrio preesistente fra le cariche dei nuclei e degli elettroni. Poichè si è stabilito che gli elettroni sono negativi e i nuclei positivi si deve dire che un corpo caricato positivamente ha troppi nuclei o che esso ha pochi elettroni. Poichè finora si è potuto stabilire che solo gli elettroni si possono spostare (non vogliamo parlare quì delle ultimissime scoperte che ci porterebbero a fare dei discorsi troppo complicati), diremo che una *carica positiva* corrisponde ad una *deficenza di elettroni* e che una carica negativa corrisponde ad una sovrabbondanza di elettroni. Perciò il bastone di ebanite con lo strofinio aveva acquistato nuovi elettroni e il vetro ne aveva

persi. Si può ora spiegare anche la ragione della forza di attrazione fra corpi caricati con elettricità di segno opposto, gli elettroni sovrabbondanti di un corpo sono spinti a compensare la mancanza di quelli dell'altro corpo; anche perchè gli elettroni (particelle negative) si respingono a vicenda.

Misuriamo l'elettricità

La terra esercita una forza di attrazione su tutti i corpi. Un corpo che pesi 10 kg. viene attirato con una forza 10 volte superiore a quella di un corpo che pesa 1 kg. Si deve fissare una unità di misura per la forza, così come per il peso si è fissata come unità di misura il grammo. Un corpo del peso di poco superiore ad 1 milligrammo (esattamente $\frac{1}{981}$ grammi) viene attirato con una forza di 1 *dina* (in greco: dynamis = forza).

Poichè prima abbiamo detto che due corpi dotati di certe cariche elettriche si attirano o respingono con una forza che dipende anche dalla distanza è opportuno fissare nella definizione della unità di carica elettrica oltre che la forza anche la distanza alla quale si devono trovare i corpi. Si è stabilito di prendere una distanza di 1 cm. Se due corpi caricati con la stessa quantità di elettricità dello stesso segno si trovano ad una distanza di 1 cm e si respingono con una forza di 1 dina si dice che essi sono caricati con l'unità di carica elettrica. Poichè questa unità sarebbe per gli scopi pratici troppo piccola si è deciso di usarne una 3.000.000.000 di volte maggiore e di chiamarla 1 coulomb (abbrev. 1 Cb.).

I condensatori elettrici

Prendiamo un tubo aperto dalle due parti e chiudiamolo da un lato con una sottile membrana di gomma in modo che essa si presenti piana e tesa. Se si versa l'acqua nel recipiente si vedrà che la membrana si gonfia sempre di più e diventa sempre più tesa (fig. 2) fino a quando superata la resistenza

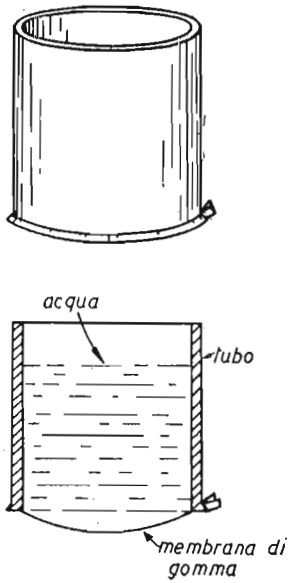

Fig. 2

meccanica, essa si lacera e il tubo si vuota. La quantità di acqua che può ancora essere contenuta nel tubo senza provocare la rottura della membrana si può chiamare capacità del tubo. Per una data capacità la tensione della membrana è proporzionata alla quantità di acqua contenuta. Volendo si potrebbe anche calcolare la tensione della membrana.

Con le cariche elettriche si presentano dei fenomeni perfettamente simili. Un pezzo di metallo può contenere solo un numero determinato di elettroni: se si porta su di esso un numero di elettroni superiore si supera il limite di capacità e l'elettricità si cerca una via d'uscita: scocca una scintilla verso un'altro conduttore. Anche qui si ha perciò a che fare con una tensione. Se si porta una certa quantità di elettricità su un corpo metallico si genera una determinata tensione che spinge gli elettroni ad uscire. Se si raddoppia la carica elettrica si raddoppla anche la tensione e così via Se si versa una certa quantità di acqua in un recipiente di una determinata capacità la sua membrana assumerà una certa tensione; se si versa la stessa quantità d'acqua in un recipiente di capacità doppia la tensione della sua membrana sarà naturalmente la metà. Lo stesso avviene anche con l'elettricità. Cioè la tensione si può in generale definire come rapporto fra la quantità e la capacità e, adoperando dei termini più esatti:

La tensione elettrica è uguale alla quantità di elettricità divisa per la capacità ($V = Q/C$).

Come noi indichiamo la capacità di un recipiente in litri così dovremo dare un'unità di misura anche per la capacità elettrica. Una sfera metallica di 1 cm di raggio (2 cm di diametro) ha una *capacità* di 1 cm. Anche questa unità è praticamente troppo piccola e si usa perciò un suo multiplo.

Si è assunto di chiamare *farad* (F) una capacità di 900.000.000.000 cm. Oggi si usano spesso dei sottomultipli di questa misura e precisamente:

microfarad (μF = 1 milionesimo di farad),

nanofarad ($nF = \frac{1}{1000}\ \mu F = 1000$ pF),

picofarad ($\mu\mu$F o pF = 1 milionesimo di μF). Perciò 1 pF = 0,9 cm e 1 cm = 1,1 pF.

Poichè la quantità di elettricità si misura in coulomb (secondo gli ultimi calcoli di 1 Cb non ci sono meno di 6.370.000.000.000.000.000 elettroni) e la capacità in farad si può ora fissare anche l'unità di misura della tensione.

Si è convenuto di dire che un corpo con la capacità di 1 farad e caricato con 1 coulomb ha una tensione unitaria che si chiama volt (abbrev. V):

$$1 \text{ volt} = \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ farad}} \quad \left(\text{abbrev. } 1 \text{ V} = \frac{1 \text{ Cb}}{1 \text{ F}}\right)$$

È praticamente impossibile costruire una sfera della capacità di 1 farad. Essa dovrebbe avere un diametro pari a 1400 volte quello della nostra terra. Esiste però un artificio che permette di costruire delle capacità molto elevate. In un corpo metallico in cui si trovano troppi elettroni, essi a causa della reciproca forza di repulsione cercheranno di allontanarsi il più possibile l'uno dall'altro, perciò di disporranno sulla superficie esterna del corpo. È questa la ragione per cui una sfera cava di 1 cm di diametro ha la stessa identica capacità di una sfera metallica piena con lo stesso diametro.

Prendiamo una piastra metallica isolata e avviciniamo ad essa un'altra piastra elettricamente carica (per esempio negativa) allora tutti gli elettroni presenti sulla seconda piastra vengono respinti e vanno a raccogliersi sulla parte opposta, invece le particelle elettriche positive si sentono attratte e tendono verso l'altra parte (fig. 3*a*). Se si procura una via d'uscita alle particelle negative della piastra di destra collegandola alla terra (fig. 3*b*) esse abbandoneranno la piastra sulla quale rimarranno solo le particelle positive che sono trattenute da un numero corrispondente di particelle negative della piastra caricata. Poichè la forza di at-

trazione è tanto maggiore quanto minore è la distanza, a distanze minori fra le due piastre si potranno caricare più elettroni sulla piastra di sinistra, perchè possono uscire più elettroni dalla piastra di destra; in altre parole: la capacità

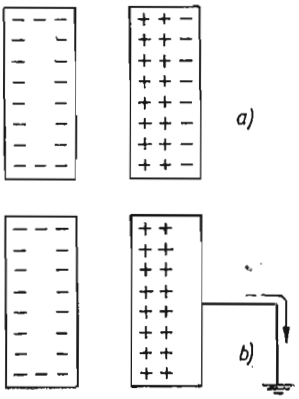

Fig. 3

è tanto maggiore quanto minore è la distanza delle piastre. Inoltre è chiaro che la capacità è tanto maggiore quanto maggiore è la superficie dei corpi affacciati. La capacità fra due piastre metalliche si può calcolare nota la superficie S in centimetri quadrati e la distanza d in cm con la formula:

La capacità in cm è uguale alla superficie divisa per la distanza moltiplicata per 4 *e per* 3,14.

$$C_{cm} = \frac{S}{4 \cdot 3{,}14 \cdot d}.$$

L'esistenza dei numeri 4 e 3,14 ($=\pi$) è dovuta al fatto che la capacità è stata introdotta partendo da una sfera.

Se si interpone fra le due piastre un materiale isolante, la capacità aumenta ancora; e precisamente essa aumenta in base alla sua composizione: per esempio con il vetro e la mica diventa $5 \div 8$ volte e con il materiale ceramico con-

densa C anche 80 volte. (Confrontare la fig. 4). Si chiama « *costante dielettrica* » di un materiale isolante (« *dielettrico* ») quel numero per cui si deve moltiplicare il valore della ca-

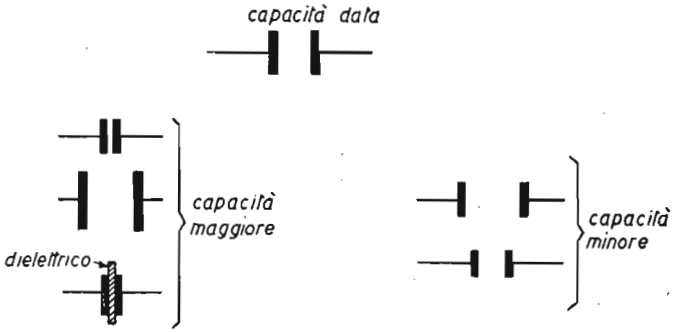

Fig. 4

pacità calcolato con la formula precedente per ottenere il valore effettivo della capacità del condensatore nel caso si impieghi quel materiale isolante. Il complesso delle due piastre che serve per immagazzinare l'elettricità si chiama « *condensatore* »; la sua caratteristica più importante è, come si capisce da quanto abbiamo già detto, la capacità. È però interessante conoscere anche la tensione alla quale il condensatore scarica, quella tensione cioè alla quale la carica è troppo alta. Normalmente nella pratica si impiegano i condensatori ad una tensione di esercizio che è solo un terzo di quella di scarica.

Condensatori per la tecnica radio

È raro trovare nella tecnica radio il condensatore costituito da due semplici piastre affacciate separate dall'aria o da un dielettrico. Di solito si usano dei tipi derivati. Per ottenere dei valori di capacità più elevati si possono sovrap-

porre diverse piastre o fogli metallici isolati da strati di carta o di mica (i cosidettl *condensatori a pacchetto* fig. 5*a*). Sono molto usati anche i condensatori formati da due lunghi e sottili nastri metallici tenuti separati da nastri di isolante e avvolti in modo da ottenere un corpo cilindrico o rettangolare (*condensatori avvolti* fig. 5*b*). I terminali non vengono di solito collegati agli inizi delle armature come in fig. 5*b* ma si lasciano invece sporgere i due fogli metallici da uno un lato e uno dall'altro e da essi si saldabo i terminali (si hanno così i condensatori a *bassa induttanza* o a *basa attenuazione*. I condensatori di piccola capacità si ottengono spesso depo-

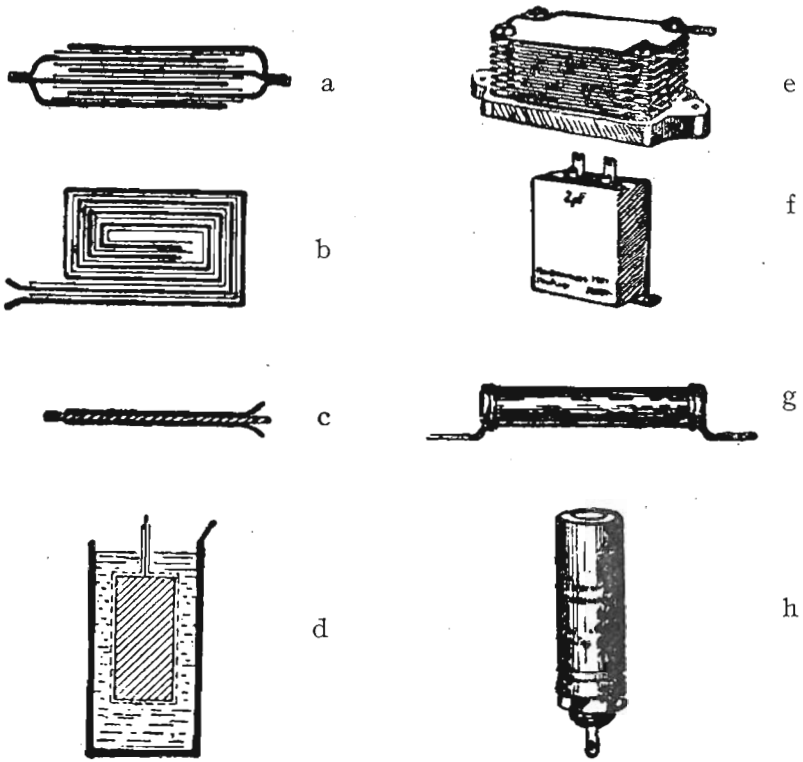

Fig. 5

sitando sulle due faccie di una piastrina di mica o di ceramica uno strato di argento (fig. 5*c*) che poi viene rinforzato con un deposito elettrolitico di rame sul quale si saldano direttamente i terminali. Questi condensatori a *mica argentata* o *ceramici*, che vengono costruiti anche in forma di tubetti o di pastiglie, si distinguono per la costanza dei loro valori elettrici. Un tipo completamente diverso di condensatore è il *condenstore elettrolitico* esso deve il suo nome al liquido (*elettrolita*) contenuto nel suo involucro metallico.

Questo involucro (di solito in alluminio) costituisce una armatura del condensatore, l'altra è formata da un corpo in alluminio isolato e immerso nell'elettrolita. L'elettrolita ha fra l'altro il compito di collegare elettricamente l'armatura esterna allo strato isolante, è quindi esso stesso una parte dell'armatura del condensatore.

Lo strato isolante del corpo centrale è costituito da una pellicola di ossido e viene formato con un procedimento speciale. Esso è molto sottile, si possono quindi ottenere con un piccolo ingombro dei valori elevati di capacità, specialmente se con speciali accorgimenti si riesce ad aumentare la superficie dell'armatura interna. Caratteristica generale dei condensatori elettrolitici (compresi quelli in cui l'elettrolita è assorbito da una sostanza porosa) (fig. 5*d*) è che in funzionamento passa attraverso loro una piccola corrente continua (la cosidetta *corrente residua*), in un condensatore normale non dovrebbe passare alcuna corrente continua (vedi anche più avanti). Le fig. 5*e*...*h* mostrano alcune forme normali di condensatori. La fig. 5*e* mostra un *condensatore in aria* in cui due serie di piastre sono isolate dall'aria e dalla piastra di base in ceramica, la fig. 5*f* un *condensatore a blocco* che contiene un condensatore avvolto come in fig. 5*b*.

Un sottotipo sono i *condensatori a fiala* in cui un condensatore avvolto cilindrico è inserito in un tubetto isolante, mentre invece nei condensatori a blocco la custodia è in

alluminio o in ferro con una piastra di copertura isolante provvista di punte per la saldatura. La fig. 5*g* mostra un tipo di condensatore ceramico cilindrico con terminali a filo. La fig. 5*h* mostra un condensatore elettrolitico.

In generale i condensatori nei quali la capacità ha un valore determinato si chiamano *condensatori fissi*. Nella tecnica radio occorrono, oltre a questi condensatori fissi, anche dei condensatori la cui capacità sia variabile con continuità. Allo scopo si può impiegare per esempio un pacchetto fisso di piastre (*Statore*) fra le quali si può inserire un'altro pacchetto di piastre girevoli attorno ad un'asse (*Rotore*), che può avere come dielettrico sia l'aria fig. 6*a* sia un isolante solido (fig. 6*b*). Nel secondo caso a parità di capacità si ha

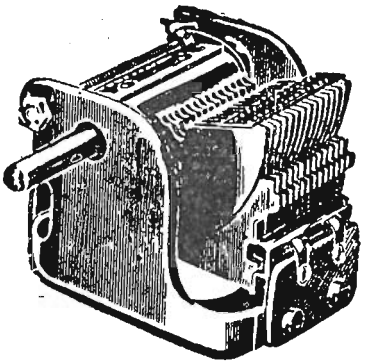

Fig. 6 a)

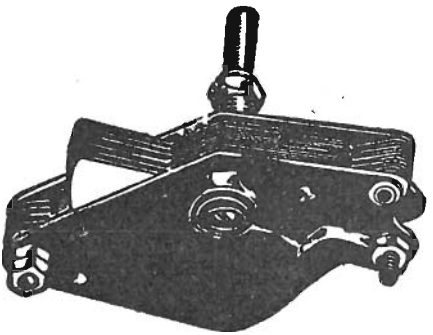

Fig. 6 b)

un ingombro minore, tuttavia le caratteristiche di questo condensatore sono inferiori a quelle di un condensatore in aria. Per quei casi in cui la capacità va regolata una volta tanto si impiegano spesso dei condensatori a pressione (fig. 6*c*) nei quali su un deposito fisso di metallo si pone una piastrina di mica. Su questa piastrina preme la seconda armatura a forma di molla che può essere fatta aderire più o meno con una vite. La capacità del condensatore variabile

a rotazione è massima quando le armature del rotore sono perfettamente affacciate a quelle dello statore. I *condensatori a pressione*, detti anche *trimmer*, raggiungono il valore massimo della capacità quando l'armatura a molla appoggia completamente sull'armatura fissa.

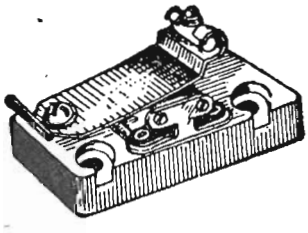

Fig. 6 c)

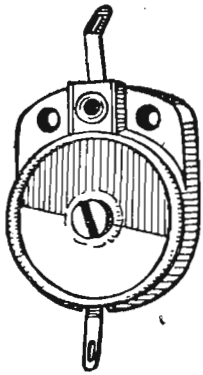

Fig. 6 d)

Vengono impiegati come trimmer anche dei condensatori ceramici a flange (fig. 6*d*). Sia sullo zoccolo fisso che sulla flangia girevole viene depositato uno strato di argento. Ruotando la flangia con un cacciavite si varia la capacità del trimmer.

La corrente elettrica

Più sopra si è detto che le particelle cariche di elettricità dello stesso segno, per esempio gli elettroni, tendono ad allontanarsi l'un l'altro, cioè essi si portano sui punti più estremi del corpo su cui vengono a trovarsi. Dipende dalle caratteristiche del corpo se questa tendenza può essere soddisfatta o no. La mobilità degli elettroni nei metalli è variabile, essi si possono spostare molto facilmente nel rame

e nell'argento, invece in certe leghe metalliche il loro movimento è molto più ostacolato. Però anche in questi metalli gli elettroni possono essere considerati praticamente liberi. I metalli vengono detti « *conduttori* ».

In altre sostanze il comportamento è completamente diverso. In esse gli elettroni non posseggono alcuna possibilità di movimento e non possono spostarsi da un punto all'altro del corpo. Queste sostanze si chiamano *isolanti* o *dielettrici* e li abbiamo già visti impiegati nei condensatori. Se si hanno due piastre affacciate, una caricata positivamente e l'altra negativamente, esisterà fra loro una certa tensione elettrica che tenderà a compensarsi. In altre parole: gli elettroni della piastra negativa tenderanno a portarsi sulla piastra positiva. Se si collegano le due piastre con un filo metallico (*collegamento conduttore*), nel quale gli elettroni possano muoversi, passeranno per esso verso la piastra positiva tanti elettroni quanti ne mancavano prima. Con ciò è ristabilito l'equilibrio ed il condensatore è scaricato. Poichè le grandezze sono state definite convenzionalmente noi potremo anche dire: « l'elettricità positiva passa per il filo e va verso la piastra negativa ». L'effetto finale è identico nei due casi. Si era pensato una volta che l'elettricità positiva scorresse dal polo positivo verso il polo negativo, cioè si credeva che la corrente elettrica fosse dovuta al moto delle cariche positive. Oggi si sa invece che sono gli elettroni quelli che si incaricano del trasporto dell'elettricità, si dice quindi che il moto degli elettroni avviene dal — al +. Queste due rappresentazioni sono perfettamente equivalenti. Per evitare delle confusioni ripetiamo che:

La corrente elettrica va dal + al —.
Gli elettroni vanno dal — al +.

quindi nel senso opposto a quello della corrente. In questo modo si è spiegata l'apparente discordanza fra il vecchio modo di dire e le recenti scoperte.

Se si vuole costruire una rete di distribuzione dell'acqua in una città, non basta solo posare i tubi, ma è necessario che in essi ci sia l'acqua e sopratutto che essa possa uscire da loro. Affinchè l'acqua possa salire sui tubi e uscire da essi deve possedere una pressione determinata. Questo può essere ottenuta con una pompa in funzionamento continuo, ma si può anche riempire un serbatoio sufficientemente elevato al quale l'acqua si fa arrivare da un posto qualsiasi.

Nella fig. 7 abbiamo due vasi pieni di acqua e collegati

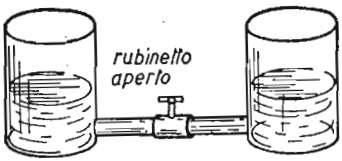

Fig. 7

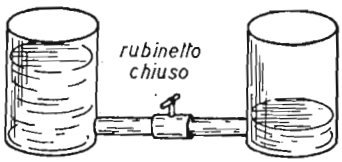

Fig. 8

con un tubo sul quale è inserita una valvola. Questa può essere sia aperta che chiusa; non succede niente perchè l'acqua dei due vasi è alla stessa altezza e non si muove.

Chiudiamo ora la valvola e travasiamo dell'acqua dal vaso di destra a quello di sinistra (fig. 8), l'acqua eserciterà allora una pressione sulla valvola e tenderà a muoversi verso destra. Solo se apriamo la valvola l'acqua può passare attraverso il tubo e andare nel vaso di destra. Quando l'acqua ha raggiunto lo stesso livello nei due vasi la pressione è equilibrata e tutto torna immobile. Se sul vaso di sinistra arriva acqua continuamente essa continuerà a passare sempre per il tubo e tracimerà dal vaso di destra.

La differenza di pressione viene compensata tanto più rapidamente quanto maggiore è la quantità d'acqua che può passare nel tubo per una determinata sovrappressione del vaso di sinistra, cioè quanto più grosso è il tubo; e

d'altra parte se il tubo è molto sottile la quantità di acqua che potrà passare sarà minima. Per un determinato raggio del tubo la quantità d'acqua che può passare in un certo tempo è tanto maggiore quanto maggiore è la pressione, nel nostro caso quanto più è alto il livello sul vaso di sinistra e quanto più è basso in quello di destra. Non è nemmeno indifferente la conformazione della parete interna del tubo. Un tubo liscio o lucidato all'interno opporrà una resistenza alla corrente d'acqua molto minore di uno con una superficie interna rugosa per depositi di calcare. Ed infine un tubo lungo offrirà una resistenza maggiore di uno corto e ridurrà perciò la corrente. Ci sono perciò parecchi fattori che determinano la corrente (quantità d'acqua).

Lo stato della superficie interna del tubo è una caratteristica sua propria (specifica) in modo che si può parlare di una resistenza specifica ρ (lettera dell'alfabeto greco che si pronuncia ro) propria del tubo che può essere confrontata per esempio con quello di un tubo internamente liscio. Se la resistenza che l'acqua incontra in un tubo liscio ha un certo valore e se in un tubo ruvido essa è cinque volte maggiore si può anche dire che nel tubo liscio $\rho = 1$ ed in quello ruvido $\rho = 5$. Anche questa è una convenzione.

I concetti qui sopra possono essere espressi anche con una formula: *la corrente* (I) *è uguale alla pressione* (V) *moltiplicata per la sezione* (S) *e divina per la lunghezza* (l) *e per la resistenza specifica* (ρ):

$$I = \frac{V S}{\rho l}.$$

Passando nel campo elettrico si possono trarre le seguenti conclusioni: quanto più un filo è sottile tanto maggiore sarà la resistenza che esso opporrà ad una corrente che passa attraverso esso, poichè la quantità di elettricità che viene forzata sul filo dalla « pressione elettrica » che noi chiamiamo

tensione troverà una via più facile in un filo di sezione maggiore. Anche quì la corrente è tanto maggiore quanto maggiore è la tensione. Un filo lungo, a parità di tutte le altre condizioni, permetterà il passaggio di meno corrente di un filo corto ed uno di un metallo in cui gli elettroni possono muoversi facilmente (buon conduttore) lascerà passare più corrente di uno in cui gli elettroni non possono muoversi con facilità (cattivo conduttore). In un « filo » di materiale isolante — per esempio in un filo di vetro — non passa alcuna corrente. Le sostanze che conducono l'elettricità vengono chiamate conduttori e la proprietà di condurre l'elettricità viene detta conducibilità.

Quanto meglio un materiale conduce l'elettricità, tanto maggiore è la sua conducibilità, tanto minore è la sua resistenza e viceversa. Poichè il comportamento della corrente elettrica è analogo a quello della corrente d'acqua possiamo impiegare ancora la formula vista prima (I = corrente; V = tensione).

Noi dobbiamo fissare ora qualche altra grandezza. Per la tensione elettrica avevamo già trovato il volt. Per l'acqua che scorre in un tubo si potrebbero determinare quanti litri passano in un secondo. Nella corrente elettrica si ha a che fare con una quantità di elettricità la cui misura è il coulomb (abbreviato Cb). Se in un conduttore passa una quantità di elettricità pari ad un coulomb in un secondo si dirà che questa corrente è di 1 ampere (abbreviato Amp. o A).

È interessante notare a questo proposito che la tensione che si misura in volt non è dipendente dal tempo e che per portare un corpo ad una certa tensione si deve compiere un certo lavoro. Pensiamo ancora all'esempio dell'acqua. Noi dobbiamo travasare l'acqua dal vaso di destra a quello di sinistra. Perciò non è solo necessario che noi vinciamo la forza di gravità ma occorre anche che noi solleviamo l'acqua lungo un certo percorso. Quando si fa agire una forza per

una certa distanza, si chiama lavoro il prodotto della forza per la distanza. Per immagazzinare dell'elettricità occorre sempre del lavoro (sia pure il solo strofinio del bastone di ebanite) come per sollevare l'acqua. Sia l'elettricità che l'acqua immagazzinata possono naturalmente sempre cedere il lavoro in esse contenuto. La corrente è strettamente legata al tempo, essa esprime infatti la quantità di elettricità che passa in un conduttore in un determinato tempo. In seguito faremo ancora uso di questo concetto.

Più sopra si è detto che la corrente dipende dalla tensione, dalla lunghezza e dalle caratteristiche del materiale (resistenza specifica). Si possono mettere assieme le ultime tre caratteristiche e parlare della *resistenza* opposta da un conduttore al passaggio della corrente. Poichè per una data tensione V la corrente I è tanto più piccola quanto maggiore è la resistenza e viceversa si può dire:

La corrente è uguale alla tensione divisa per la resistenza:

$$I = V/R$$

Questa è la famosa **legge di Ohm**

Da quanto detto si può ora stabilire come si può determinare la resistenza in base alla lunghezza, sezione e resistenza specifica di un conduttore:

La resistenza è uguale alla lunghezza moltiplicata per la resistenza specifica e divisa per la sezione:

$$R = \frac{l \cdot \rho}{S}.$$

Normalmente si misura la lunghezza in metri (m) e la sezione in millimetri quadrati (mm^2).

Si deve stabilire un'unità di misura anche per la resistenza. Noi conosciamo già il volt e l'ampere.

Se in un conduttore ai cui estremi è applicata una tensione di 1 V passa una corrente di 1 A si dice che quel conduttore ha una resistenza di 1 ohm (abbreviato Ω, la lettera omega dell'alfabeto greco). Nella seguente tabella I sono raccolti dei multipli e sottomultipli di volt, ampere e ohm e nella Tabella II si trova la legge di ohm scritta nei vari modi possibili.

Tabella I

1 A = 1000 milliampere (mA) = 1.000.000 microampere (μA).

$$1\ \mu A = \frac{1}{1000}\ mA = \frac{1}{1.000.000}\ A$$

$$1\ mA = \frac{1}{1000}\ A = 1000\ \mu A.$$

1V = 1000 millivolt (mV) = 1.000.000 microvolt (μV)

$$1\ \mu V = \frac{1}{1000}\ mV = \frac{1}{1.000.000}\ V$$

$$1\ mV = \frac{1}{1000}\ V = 1000\ \mu V$$

1 megaohm (MΩ) = 1000 kiloohm (kΩ) = 1.000.000 ohm (Ω)

$$1\ \Omega = \frac{1}{1000}\ k\Omega = \frac{1}{1.000.000}\ M\Omega$$

$$1\ k\Omega = \frac{1}{1000}\ M\Omega = 1000\ \Omega$$

$$\frac{1}{10} = 0{,}1 \qquad \frac{1}{100} = 0{,}01 \qquad \frac{1}{1000} = 0{,}001$$

$$\frac{1}{10000} = 0{,}0001 \qquad \frac{1}{100000} = 0{,}00001$$

$$\frac{1}{1.000.000} = 0{,}000001$$

Tabella II

$\text{ampere} = \dfrac{\text{volt}}{\text{ohm}}$	$\text{volt} = \text{ohm} \times \text{ampere}$
$\text{milliampere} = \dfrac{\text{volt}}{\text{kiloohm}}$	$\text{volt} = \text{kiloohm} \times \text{milli-ampere}$
$\text{microampere} = \dfrac{\text{volt}}{\text{megaohm}}$	$\text{volt} = \text{megaohm} \times \text{micro-ampere}$

$$\text{ohm} = \frac{\text{volt}}{\text{ampere}}$$

$$\text{kiloohm} = \frac{\text{volt}}{\text{milliampere}}$$

$$\text{megaohm} = \frac{\text{volt}}{\text{microampere}}$$

Altre sorgenti di elettricità

Un condensatore non può far passare attraverso il filo che collega le sue due armature una quantità di elettricità superiore a quella che gli era stata fornita.

Quando si è raggiunto l'equilibrio la corrente cessa. Se si vuole far passare la corrente per un tempo superiore occorre o continuare a caricare il condensatore o cercare un'altra sorgente. Se per esempio si pongono in un recipiente contenente una soluzione di acido solforico una piastra di zinco ed una di rame si può osservare che fra le due piastre esiste una certa tensione elettrica.

Si pensa che dallo zinco si liberino delle particelle positive (nuclei o atomi con meno elettroni) che si portano nella soluzione in modo che sullo zinco rimane una sovrabbondanza di elettroni che tende a compensarsi (non vogliamo parlare qui dei fenomeni elettrochimici molto complicati che sono alla base di questo comportamento). Se si collegano il rame e lo zinco con un filo metallico si ottiene un passaggio continuo di corrente (*corrente galvanica*), perchè lo zinco libera continuamente delle particelle positive e quindi rimane sempre su di esso una sovrabbondanza di elettroni che vengono scaricati attraverso il filo.

La *pila* elettrica rame-zinco in soluzione di acido solforico continua a fornire corrente fino a che esiste dello zinco. Solo quando tutto lo zinco è sciolto, cessa la forza che spinge l'elettricità, la cosidetta *forza elettromotrice* (*f.e.m.*) della pila. Essa è misurata in volt perchè è identica alla tensione.

Il fatto che il nome sia diverso ha la sua ragione. Come i metalli hanno una determinata resistenza (specifica) lo stesso succede anche per i liquidi. Fino a che non si stabilisce alcun collegamento fra il rame e lo zinco, cioè fino a che

non passa corrente, un voltmetro (che non deve avere alcun assorbimento di corrente) posto ai morsetti che fanno capo al rame e allo zinco misurerà una tensione pari alla forza elettromotrice (f.e.m.).

Poichè la f.e.m. è una tensione che tende a far passare la corrente elettrica in qualsiasi resistenza, quando noi colleghiamo il rame allo zinco con un filo, non entrerà in gioco solo la resistenza di quest'ultimo ma avrà la sua importanza anche la resistenza del liquido. Appena viene stabilito un collegamento elettrico fra i due morsetti la corrente inizia dunque a percorrere il circuito (si tratta di un vero e proprio circuito chiuso): gli elettroni vanno dallo zinco al rame attraverso al filo e dal rame allo zinco attraverso la soluzione e così via. Una parte della f.e.m. viene spesa per far passare gli elettroni lungo il filo — cioè nella parte esterna del circuito o nella *resistenza esterna* —, e l'altra parte è necessaria per vincere la resistenza del liquido, la cosidetta *resistenza interna*. È perciò chiaro che la *tensione ai morsetti* della pila, quando passa la corrente, è minore della f.e.m.

Per chiarire questo punto esaminiamo un esempio scelto a caso (fig. 9). Supponiamo di avere misurato ai morsetti della pila, con un voltmetro che assorbe una corrente mi-

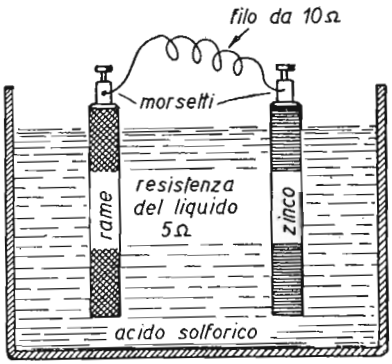

Fig. 9

nima, una f.e.m. di 1.5 V. Sia pari a 5 Ω la resistenza della soluzione fra le due piastre. Colleghiamo le due piastre con un filo avente una resistenza di 10 Ω, la f.e.m. di 1,5 V deve far passare la corrente attraverso questa resistenza e attraverso la resistenza interna di 5 Ω. Poichè la corrente deve percorrere le due resistenze una dopo l'altra si dice che esse sono collegate *in serie*, perciò i loro valori ohmici devono essere sommati. Nonostante noi abbiamo chiuso le due piastre attraverso 10 Ω la resistenza totale del circuito è di 15 Ω. Secondo la legge di Ohm si ha una corrente di 0,1 A (si divide 1,5 V per 15 Ω).

Per far passare una corrente di 0,1 A attraverso un filo di 10 Ω di resistenza occorre solo 1 V, per far passare la stessa corrente attraverso la resistenza interna di 5 Ω occorrono 0,5 V, cioè in questo caso un terzo della f.e.m. disponibile viene perso nella resistenza interna (cade e quindi *caduta di tensione*) in modo che ai morsetti ora si misura solo 1 V. Se fra i due morsetti si fosse collegata una resistenza di 1000 Ω la resistenza totale sarebbe stata di 1005 Ω e sarebbe passata una corrente di poco meno di 0,0015 A (1,5 mA), infatti la sensibilità dello strumento non permette di leggere con esattezza la corrente effettiva che è uguale a 1,5/1005 = 0,001495... A.

Un voltmetro con una precisione dell'1% collegato ai morsetti misura una tensionre di 1,5 V, nonostante che quella reale sia un po' minore (1,4935 V). Se fra i morsetti si collega una resistenza di 1/1000 Ω, cioè un corto e grosso filo di rame, la resistenza totale è pari a 5,001 Ω e l'intensità di corrente vale 1,5/5 = 0,3 A. Se si riesce a porre esattamente uguale a zero la resistenza fra i morsetti, cioè se si *corto-circuitano*, resta solo la resistenza interna e la corrente è esattamente uguale a 0,3 A.

Questo esempio è molto interessante e istruttivo. Se lasciamo aperti i morsetti della pila si troverà ai loro capi la f.e.m. Poichè la sorgente, quando non si deriva alcuna

corrente funziona a vuoto, come il motore acceso di una macchina ferma, si parla in questo caso di *funzionamento a vuoto* e la tensione presente ai morsetti si dice anche *tensione a vuoto*; la corrente è nulla, invece nel caso di cortocircuito dei morsetti la corrente è massima e la tensione è nulla (infatti essi sono collegati assieme). La corrente che passa in questo caso è determinata dalla f.e.m. e dalla resistenza interna e si chiama *corrente di corto circuito*. Nella fig. 10

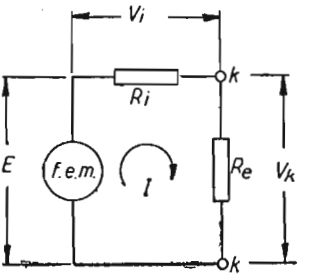

Fig. 10

si sono rappresentati schematicamente questi rapporti. La f.e.m. viene segnata con un cerchio e indicata con E. La resistenza interna viene rappresentata con il rettangolo R_i. I morsetti sono indicati con K e la resistenza esterna con R_e (il rettangolino è il simbolo con cui si rappresentano le resistenze). La tensione ai morsetti è V_k, il simbolo V_i per la tensione interna è molto meno impiegato.

Osservando questo schema e ricordando la legge di Ohm si vede subito che a morsetti aperti V_k ed E sono identici, $I = 0$ e ai capi di R_i non c'è alcuna caduta di tensione.

D'altra parte se $R_e = 0$ (cortocircuito) si ha $V_k = 0$ e $I = E/R_i$. In tutti gli altri casi, cioè quando R_e ha un valore compreso fra zero e infinito il rapporto fra la tensione ai morsetti e la tensione perduta nella resistenza interna (V_k/V_i) è uguale al rapporto fra la resistenza esterna e la

resistenza interna (R_e/R_i) o in altre parole il rapporto fra la tensione ai morsetti e la forza elettromotrice (V_k/E) è uguale al rapporto fra la resistenza esterna e la resistenza totale (somma di R_e e di R_i) cioè:

$$\frac{V_k}{E} = \frac{R_e}{R_e + R_i}$$

Abbiamo dedicato tanto tempo allo studio di questi fenomeni perchè ciò ci sarà molto utile più avanti, quando studieremo le valvole e i loro circuiti.

Nella pratica si impiegano anche altre sorgenti. Invece di usare rame e zinco in una soluzione di acido solforico si può anche usare carbone e zinco in una soluzione di cloruro d'ammonio e si ottiene una pila di 1,5 V di f.e.m. nella quale lo zinco è negativo e il carbone positivo. Poichè il passaggio della corrente trova in questo caso certi ostacoli occorre attorniare il carbone con polvere di pirolusite (un minerale di manganese). Questa polvere è contenuta in un sacchetto nel quale è immerso il carbone, da ciò deriva il nome di *pila a sacchetto*. Queste pile con soluzione di cloruro d'ammonio venivano molto impiegate negli impianti di campanelli elettrici (fig. 11*a*). Un sottotipo è costituito dalle *pile a secco* nelle quali la soluzione è assorbita da segatura o da sostanze gelatinose in modo da impedire la fuoriuscita del liquido e da permettere l'impiego della pila in qualsiasi posizione. Anche i tipi più grossi di queste pile (fig. 11*b*) venivano usate negli impianti di campanelli elettrici ed i tipi più piccoli servono per alimentare le lampade a pila tascabili.

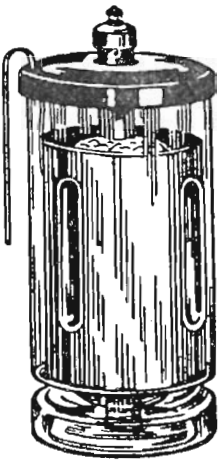

Fig. 11 a)

La fig. 11*c* rappresenta una pila ad un solo elemento, quella della fig. 11*d* è costituita da più elementi collegati in serie (occorre collegare lo zinco di un elemento con il carbone dell'altro e così via). In questo modo le f.e.m. dei vari elementi si sommano. Contemporaneamente si sommano anche le resistenze interne. La fig. 11*e* mostra una pila per polarizzazione di griglia con prese ad innesto e la fig. 11*f* una pila di tensione anodica.

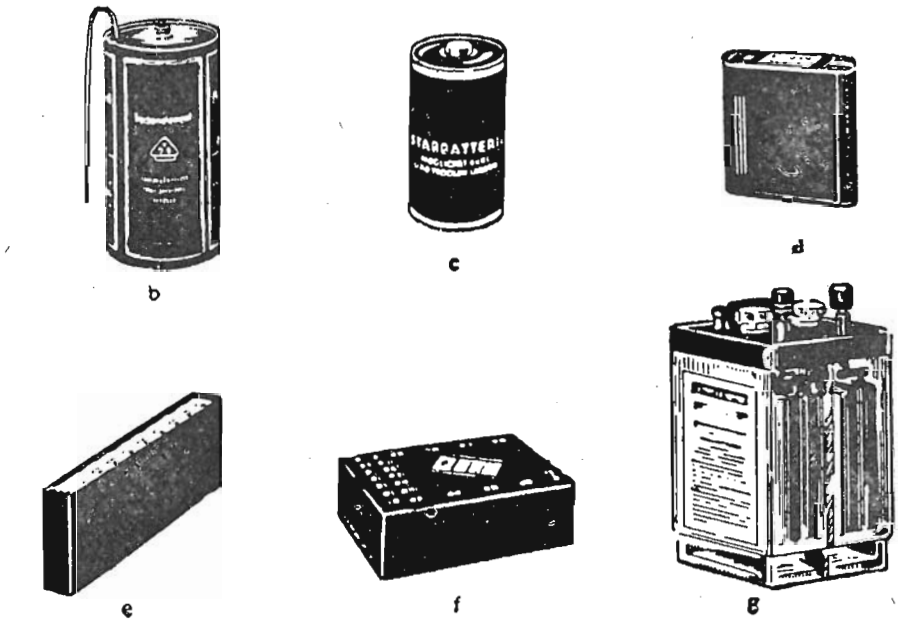

Fig. 11 b-g)

Immergiamo due piastre di piombo isolate una rispetto all'altra in un recipiente contenente dell'acido solforico diluito e facciamo passare attraverso questa *cella* una corrente elettrica — utilizzando naturalmente un'altra batteria — questa corrente passerà da una piastra all'altra attraverso la soluzione. Dopo un po' di tempo si noterà che

una piastra di piombo si è colorata in bruno scuro. Interrompendo il passaggio della corrente si nota che fra le due piastre esiste ora una f.e.m. che non c'era invece quando le piastre erano state immerse nella soluzione. Se ora deriviamo della corrente da questa pila si nota che la piastra comincia via via a scolorirsi e ad un certo momento cessa la corrente. Una pila per lampada tascabile ha in se stessa la proprietà di poter fornire corrente, inoltre essa può anche caricare una pila al piombo che diventa così sorgente di elettricità; perciò si chiamano *pile primarie* quelle che producono esse stesse l'elettricità e *pile secondarie* le pile al piombo. Però per quest'ultime è molto più usata la denominazione *accumulatore* o *batteria*. La f.e.m. di un accumulatore è di 2 V e la sua resistenza interna è molto più bassa di quella di una pila a secco, esso puo essere *caricato* ogni volta che si vuole, prendendo la corrente o da un'altra batteria o dalla rete luce o da una dinamo (per es. nelle auto.) Per ottenere delle tensioni elevate occorre anche con gli accumulatori ricorrere al collegamento in serie: si collega la piastra positiva di un elemento a quella negativa dell'altro e così via. Si ottengono perciò delle batterie di accumulatori di 2 V, 4 V, 6 V e più. Durante la carica la tensione ai capi dei morsetti è superiore ai 2 V; l'accumulatore è da considerarsi scarico e deve essere nuovamente ricaricato quando la tensione ai suoi morsetti comincia a scendere al di sotto di 1,8 V (Attenzione: la misura di tensione va fatta sotto carico).

A cosa serve la legge di Ohm

È sempre poco simpatico dovere imparare una regola o una legge scientifica senza sapere bene a cosa serve. Perciò noi ci proponiamo di dimostrare ora cosa si può fare in pratica con la legge di Ohm. Supponiamo di volere alimentare un ricevitore con delle pile a secco. Consideriamo il caso del

riscaldamento dei filamenti. Le valvole sono tre: RE084, RE034 e RE134. La tensione alla valvola deve essere di 4 V e la corrente deve essere rispettivamente 0,085, 0,06 e 0,15 A, in tutto 0,295 A che si possono arrotondare a 0,3 A. La f.e.m. di un elemento di pila a secco vale 1,5 V. Si potrebbe pensare che tre elementi messi in serie cioè con una f.e.m. totale di 4,5 V possano bastare, che anzi occorre trovare il modo di eliminare il mezzo Volt che c'è in più. In realtà il calcolo dice qualcosa di diverso. Infatti i tre elementi in serie avranno una resistenza interna di circa 5 Ω in modo che con una corrente di 0,3 A si avrebbe una caduta interna di 1,5 V (infatti con 1,5 V passano in 5 Ω proprio 1,5/5 = 0,3 A). La tensione della pila sarebbe quindi insufficiente perchè per il filamento delle valvole resterebbero solo 4,5 — 1,5 = 3 V.

Si può usare un artificio. Colleghiamo due di queste pile in modo che il polo più di una sia collegato al polo più della altra e il polo meno della prima al polo meno della seconda, le colleghiamo cioè *in parallelo*. Cosa succede? Poichè le f.e.m. delle due pile sono uguali e dirette nello stesso senso ciascuna di esse tende a far passare una corrente nella resistenza esterna che in questo caso con una tensione di 4 V lascia passare una corrente di 0,3 A (essa vale quindi circa 13,3 Ω). Ciascuna batteria deve perciò fornire solo metà della corrente totale, cioè 0,15 A (fig. 12*a*). Nella resistenza interna di 5 Ω vanno quindi perduti qolo 0,15 × 5 = 0,75 V.

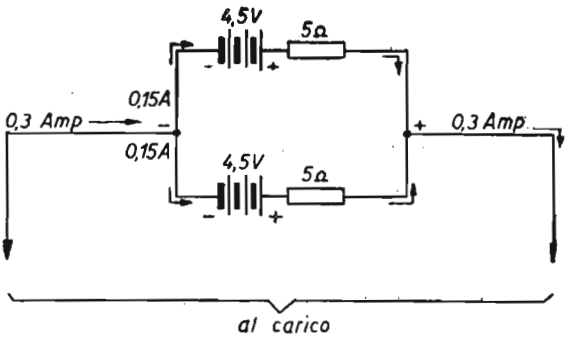

Fig. 12 a)

Guardando dall'esterno è come se la resistenza interna della pila fosse diventata la metà, poichè ora a parità di carico la tensione ai morsetti è maggiore. Se si collegano in parallelo tre batterie ciascuna di esse dovrà fornire solo un terzo della corrente totale e nella resistenza interna vanno persi $0{,}1 \times 5 = 0{,}5$ V, in modo che con tre pile in parallelo ciascuna con una resistenza interna di 5 Ω e con un assorbimento di 0,3 A si ha una tensione ai morsetti pari a 4 V.

Supponiamo ora di avere una batteria formata da 5 elementi ciascuno con una f.e.m. di 1,5 V, in totale quindi 7,5 V, e con una resistenza interna totale di 6,66Ω. In una tale pila un prelievo di 0,3 A produrrebbe una caduta di circa 2 V. La tensione ai morsetti scenderebbe allora a 5,5 V in modo che resterebbero da assorbire con una resistenza ancora 1,5 V. Questa dovrà avere un valore pari a $1{,}5/3 = 5$ Ω e dovrà essere collegata fra un morsetto e un capo del carico.

Un accumulatore ha una f.e.m. di 2 V e una resistenza interna molto piccola, quindi due elementi collegati in serie possono fornire la corrente per il riscaldamento dei filamenti senza che diminuisca in modo apprezzabile la tensione ai morsetti. Se invece si ha a disposizione un accumulatore da 6 V (per esempio quello di un'auto) si hannno 2 V in più che devono essere assorbiti. Basta allo scopo una resistenza di $2/0{,}3 = 6{,}6$ Ω circa (infatti con 2 V passano in 6,6 Ω circa 0,3 A), Se questa resistenza viene inserita nella linea che va dai morsetti dell'accnmulatore al ricevitore le valvole di quest'ultimo avranno una corrente di 0,3 A con una tensione di 4 V.

Nella fig. 12*b* è disegnato un accumulatore da 4 V ai cui morsetti sono collegati in parallelo 2 resistenze ciascuna di 8 Ω. La tensione di 4 V provoca il passaggio per ogni resistenza di $4/8 = 0{,}5$ A; è chiaro che nelle due resistenze in parallelo ciascuna di 8 Ω passa attraverso ciascuna una corrente di 0,5 A; così se le resistenze da 8 Ω in parallelo fossero 4 passerebbe in ciascuna diresse sempre 0,5 A. Nel

caso delle due resistenze l'accumulatore dovrebbe perciò fornire una corrente di 1 A, nel caso delle 4 resistenze 2 A (trascuriamo la piccola resistenza interna dell'accumulatore per non complicare inutilmente il problema). Una resistenza attraverso la quale con 4 V passa 1 A ha un valore di 4/1 = 4 Ω; una attraverso la quale con 4 V passano 2 A ha un valore di 2 Ω ecc. Noi vediamo perciò che se colleghiamo in parallelo due resistenze uguali la resistenza totale è uguale alla metà del valore di una singola resistenza, con quattro resistenze uguali in parallelo il valore totale è uguale ad ¼ del valore di una singolare resistenza.

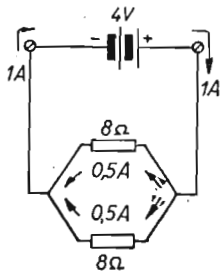

Fig. 12 b)

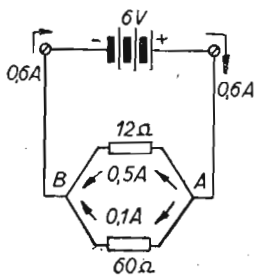

Fig. 12 c)

Consideriamo un'altro esempio: colleghiamo ai morsetti di un accumulatore da 6 V due resistenze in parallelo una da 12 Ω e una da 60 Ω (fig. 12*c*). Attraverso la prima passa una corrente di 6/12 = 0,5 A e attraverso la seconda una di 6/60 = 0,1 A in modo che la corrente totale fornita dall'accumulatore è di 0,6 A, quindi è come se avessimo collegata una resistenza di 10 Ω. Se moltiplichiamo i valori delle due resistenze e dividiamo il prodotto per la somma

$\frac{12 \times 60}{12 + 60} = 10\,\Omega$) otteniamo il valore *risultante* della

resistenza. In modo più generale si può dire che collegando in parallelo più resistenze R_1 R_2 R_3 R_4 ecc. si ottiene una resistenza risultante con la formula:

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + \ldots$$

nel caso di due sole resistenze in parallelo la formula diventa:

$$R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Da queste considerazioni si può trarre un'altra conclusione. Dall'accumulatore partono 0,6 A che nel nodo A si dividono in 0,1 A e 0,5 A per passare nelle due resistenze. Queste due correnti si riuniscono ancora nel nodo B per riformare i 0,6 A che tornano all'accumulatore. Generalizzando si può dunque dire: *la somma delle correnti che arrivano in un nodo è uguale alla somma delle correnti che partono da quel nodo.* Questa è la famosa legge di Kirckhoff.

Resistenze nella tecnica radio

Nella tecnica radio trovano impiego i più svariati tipi di resistenze. Se si osserva l'interno di un radioricevitore si troveranno vicino ai condensatori a fiala già descritti anche molti bastoncini con dei terminali in filo (fig. 13*a*). Sono resistenze. Esse sono formate o da un filo sottilissimo avvolto attorno ad un corpo di ceramica (*resistenza a filo*) o molto più spesso da uno strato di carbone o di altre sostanze chimiche depositate sempre su un corpo di ceramica (*resistenza a strato*). La laccatura superficiale serve per proteggere la resistenza dai donneggiamenti e dall'umidità. I valori impiegati sono i più vari, ce ne sono da pochi ohm,

da centinaia di ohm, da migliaia di Ω (kΩ) e qualche volta sono necessarie anche resistenze di qualche milione di Ω (MΩ). Per l'impiego nei montaggi dei dilettanti che vengono spesso modificati si usano delle resistenze con morsetti (fig. 13*b*). Dove devono passare delle correnti abbastanza alte su resistenze elevate s'impiegano delle grosse resistenze avvolte che possono anche essere combinate assieme (fig. 13*c*). Se si vuole poter variare il valore di una resistenza si impiega una resistenza avvolta su un listello isolante sul quale un cursore scorrevole può prendere il valore di resistenza desiderato (fig. 13*d*). Questi regolatori vengono co-

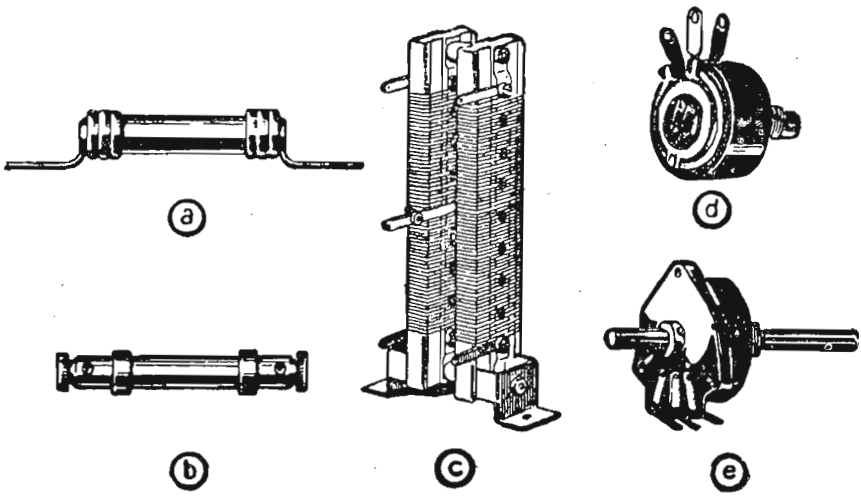

Fig. 13 a-e)

struiti oltre che con le resistenze avvolte anche con le resistenze a strato (fig. 13*e*). La loro forma costruttiva può assumere, secondo i vari impieghi, gli aspetti più svariati. Per il riscaldamento dei filamenti dei ricevitori alimentati con corrente continua o ad alimentazione universale si impiega una resistenza in filo di ferro.

Essa è contenuta in un bulbo di vetro riempito di idrogeno rarefatto ed ha la proprietà di lasciare passare sempre la stessa corrente anche se la tensione varia in un certo intervallo. Queste resistenze *ferro-idrogeno* vengono perciò impiegate in tutti quei casi in cui si desidera avere una corrente costante indipendentemente dalle variazioni della tensione (per esempio le oscillazioni della tensione di rete). Nei tipi più moderni si trova in serie alla resistenza di ferro anche una resistenza costituita da un ossido (composto dell'ossigeno) metallico poco conduttore (fig. 13*f*).

Infatti uno svantaggio delle resistenze ferro idrogeno è

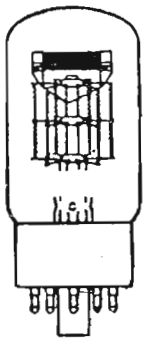

Fig. 13 *f*

che nell'inserzione la loro resistenza è molto bassa e diventa più alta solo quando il filo si è scaldato, perciò la corrente può assumere all'inizio dei valori troppo alti e qualche volta pericolosi. In questa resistenza le condizioni sono invece completamente invertite: in esse la resistenza è alta all'inizio e scende quando si sono scaldate. Perciò con la combinazione di questi due tipi di resistenze si ottiene che in nessun caso passi nel circuito una corrente troppo alta.

L'effetto termico della corrente elettrica

Giriamo l'interruttore della luce: la lampada si accende, lo stesso succede quando si fa scattare il pulsante di una lampada portatile. Osserviamo il fenomeno più da vicino. In una lampada, fra il capuccio filettato e la piastrina centrale dello zoccolo, esiste un collegamento elettrico che all'interno del bulbo è costituito da un filo sottilissimo disposto a zig-zag o avvolto in una spirale sottile. Quando passa la corrente in questi fili essi diventano roventi, arrivano persino al cosidetto colore bianco. È facile pure rendersi conto (toccando il bulbo di vetro) che il filo rovente emana del calore. Ciò dimostra che la corrente elettrica genera calore.

Ci ricordiamo bene, quando eravamo ancora ragazzi e facevamo la salita alla fune, quali vesciche si formavano nelle nostre mani se volevamo scivolare lungo la fune per fare più presto a scendere. Questo è una dimostrazione che l'attrito genera calore. È quindi facile pensare ora che anche gli elettroni, quando passano in un conduttore (filo o resistenza), incontrano un certo attrito e perciò danno origine ad un certo calore. Naturalmente il calore sarà tanto maggiore quanto più a lungo dura la corrente e quanto più alta è la resistenza, esso crescerà anche con l'intensità di corrente e quindi con la tensione applicata. Perciò si dice:

La quantità di calore è uguale alla tensione per la corrente per il tempo oppure — poichè la tensione è uguale alla corrente per la resistenza — la quantità di calore è uguale alla corrente per la corrente per la resistenza per il tempo.

(Nella matematica quando una grandezza va moltiplicata per se stessa si è soliti scrivere non $I \times I$ ma I^2 che si legge « I al quadrato » oppure « I alla seconda ». Analogamente $I \times I \times I = I^3$ « I alla terza », $I \times I \times I \times I = I^4$ « I alla quarta » ecc. Questo sistema viene impiegato molto spesso per il numero 10. Per esempio $1 \times 10^6 \Omega$ — che si può scrivere anche $10^6\ \Omega$ — significa 10 Ω moltiplicato 6 volte per se stesso. Si può facilmente calcolare che si ottengono 1.000.000 Ω. Questa regola è molto facile da imparare. Quando si deve dividere un numero per 10 si dice in modo analogo che lo si moltiplica per 10^{-1} « 10 alla meno 1 », per dividere per 1.000.000 si dice, invece che dividere per 10^6, moltiplicare per 10^{-6} « dieci alla meno 6 »).

Il valore che si ottiene dalla moltiplicazione della *corrente* in A *per* la *tensione* in V si indica con *watt* W (il valore 1000 volte superiore con kilowatt kW). La quantità di calore viene perciò misurata in *wattsecondi* (o anche in kilowattsecondi).

Come abbiamo già detto più sopra per creare una tensione occorre del lavoro. Anche nella pratica abituale si dice che per fare un certo lavoro in un secondo occorre una potenza maggiore di quella che occorrerebbe per fare lo stesso lavoro in cinque minuti. Nella tecnica si definisce infatti come *potenza* il *lavoro compiuto in un secondo*. Parlando dell'unità di misura della corrente noi abbiamo già tenuto conto del tempo; se dunque una tensione (per es. di 1 V) fa passare una corrente attraverso una certa resistenza, compie del lavoro e se la corrente vale per esempio 1 Amp. se cioè corrisponde al passaggio di 1 coulomb al secondo, si può dire che il prodotto della tensione per la corrente è uguale alla potenza e che $1\ V \times 1\ A = 1$ *watt* è l'unità di potenza elettrica. Nel campo meccanico è nota anche un'altra unità di potenza il CV (cavallo vapore) 1 CV = 736 W).

Nei cataloghi per resistenze si trova sempre l'indicazione « carico ammesso: W tot ». C'è la sua ragione: quando una resistenza è percorsa da una corrente si riscalda. In una lampada, nei filamenti delle valvole ecc. è proprio necessario il riscaldamento, anzi in questo caso la resistenza (filamento) deve diventare addirittura rovente. Invece una resistenza montata in un ricevitore che deve assorbire una certa differenza di tensione non è necessario e nemmeno desiderabile che diventi rovente, poichè essa potrebbe o bruciarsi o danneggiare altri elementi vicini sensibili al calore. Nelle resistenze per riscaldamento si tende ad aumentare le loro superficie in modo da facilitare la trasmissione del calore all'ambiente; si potrebbe quindi pensare di assegnare anche alle resistenze normali delle grandi superfici. Tuttavia delle resistenze molto grosse verrebbero a costare molto e richiederebbero troppo spazio. Si deve quindi limitare la potenza dissipata nelle resistenze in base alla loro superficie esterna, infatti se una resistenza deve dissipare in esercizio 1/10 di W non è necessario farla tanto grossa da permetterle di dissipare 10 W.

La potenza, o meglio la potenza consumata per un certo tempo, è quella che noi dobbiamo pagare alle società elettriche. Se il nostro ricevitore consuma 50 W e se lo teniamo acceso per 100 ore al mese esso consumerà $50 \times 100 = 5000$ watt oppure 5 kilowattora in modo che se un kilowattora costa 50 lire noi spendiamo 250 lire al mese per l'apparecchio.

L'amperometro a filo caldo

È noto che in generale tutti i corpi si dilatano con il riscaldamento e si restringono nuovamente con il raffreddamento. Basta pensare solo al termometro: la colonnina di mercurio o di alcool contenuta nel tubo capillare è molto

più lunga con il caldo dell'estate che non con il freddo dello inverno. Anche i fili si allungano con il riscaldamento.

Se si tende un filo fra due morsetti a vite (fig. 14*a*) e poi si chiude l'interruttore di una sorgente di corrente collegata ai morsetti (fig. 14*b*) il filo si riscalderà a causa del passaggio di corrente diventerà perciò più lungo e si allenterà. Misurando con una lente su una scala posta dietro al filo l'ab-

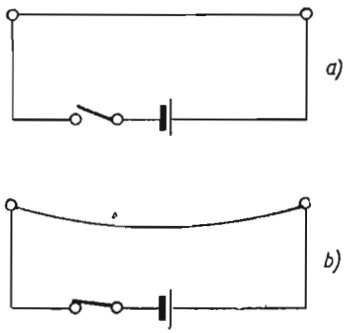

Fig. 14

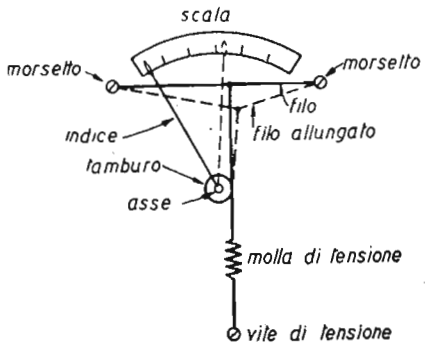

Fig. 15

bassamento del punto medio del filo ottenuto con delle correnti note si potrebbe tarare questo dispositivo e usarlo poi come misuratore di corrente in base alla misura dell'abbassamento. Questo principio è stato applicato anche nella pratica. Lo strumento che ne è risultato si chiama « *amperometro a filo caldo* », perchè in esso si scalda un filo e si misura il suo allungamento.

Il dispositivo è stato perfezionato collegando al centro del filo caldo un altro filo trasversale che viene tenuto teso da una molla. Esso è avvolto attorno ad un tamburo che porta l'indice e che è girevole attorno ad un asse. Quando il filo si riscalda e si allunga il movimento viene trasmesso al tamburo e l'indice viene spostato dalla propria posizione di riposo (segnata tratto continuo).

Metodi di misura delle resistenze

Non solo il fabbricante di resistenze deve avere la possibilità di misurarle ma anche al dilettante può capitare spesso l'occasione di avere delle resistenze che vorrebbe potere usare, ma sulle quali non si legge più il valore. Egli perciò deve poterle misurare. I sistemi possibili sono molti ma il più semplice è il seguente: si collegano in serie una sorgente di tensione nota — per esempio un accumulatore di 4 V — la resistenza ed un amperometro. Se l'accumulatore da 4 V fa passare attraverso la resistenza una corrente di 0,01 A (10 mA), la resistenza vale 4/0,01 = 400 Ω. In questo modo si è trascurata la resistenza dello strumento, se essa per esempio vale 100 Ω, la resistenza misurata ha un valore di soli 300 Ω.

Esiste un'altro metodo che dà dei risultati molto precisi. Colleghiamo ai morsetti di un accumulatore da 4 V 8 resistenze, perfettamente uguali, in serie (fig. 16) ai capi di tutte

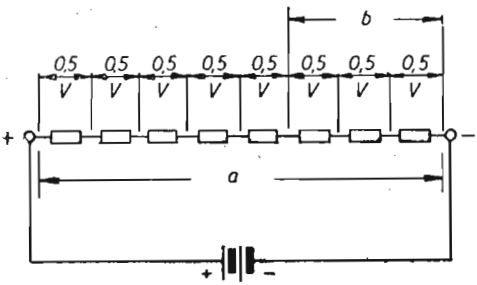

Fig. 16

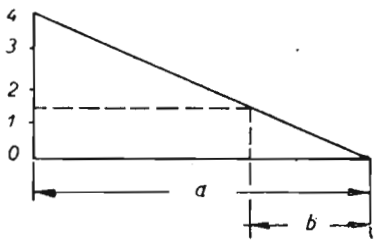

Fig. 17

e otto ci sarà la tensione di 4 V, ai capi di ciascuna ci sarà perciò 1/8 di 4 V cioè 0,5 V. Se con un voltmetro misuriamo la tensione fra il morsetto — e le singole resistenze troveremo

ai capi del tratto *a* la piena tensione e poi, man mano che il terminale libero del voltmetro si sposta verso destra, la tensione misurata sarà via via più bassa.

Al segmento *b* corrisponde per esempio la tensione di 1,5 V. Se disegniamo orizzontalmente il segmento *a* e verticalmente i valori della tensione misurati in ogni « tratto » si otterrà una linea retta pendente dal + al — che rappresenta la caduta di tensione (fig. 17). Se invece di prendere delle resistenze singole si fa la prova con un filo di resistenza, esso si può immaginare come formato da tante piccole resistenze messe in serie e si troverà lo stesso identico andamento della caduta di tensione dal + al —. Fra il — e la metà del filo si troverà metà della tensione che esiste fra il — e il +. Se ora si vuole trovare (come si è fatto nella fig. 16 il punto del filo in cui la tensione vale 1,5 V rispetto al — occorre fare il seguente ragionamento. Nella fig. 16 i 4 V sono divisi in 8 parti uguali e la tensione di 1,5 V corrisponde a 3 di queste parti cioè a 3/8. Corrispondentemente nella fig. 18 si dovrebbe cercare un punto tale che, fra esso e il morsetto — siano compresi i 3/8 della resistenza totale (o il che è lo stesso i 3/8 della lunghezza del filo). La tensione in questo punto vale 1,5 V. Un tale sistema di suddivisione della tensione si chiama « *potenziometro* », la realizzazione pratica di queste resistenze speciali, ha la forma delle resistenze variabili a rotazione delle fig. 13*d e*.

Se si collegano ai capi di un accumulatore da 4 V due resistenze in serie da 3 e da 1 Ω (fig. 19), passerà attraverso

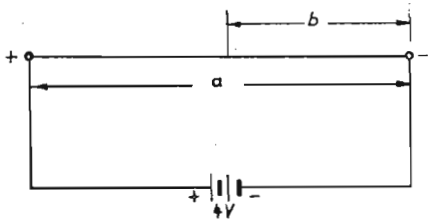

Fig. 18

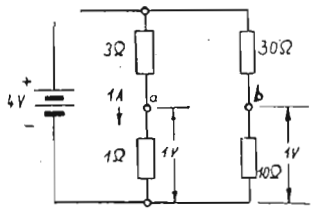

Fig. 19

i 4 Ω complessivi una corrente di 1 A e la tensione ai capi della resistenza di 1 Ω sarà di 1 V. Queste condizioni non cambiano se si collegano all'accumulatore due altre resistenze — per esempio 40 e 10 Ω in serie —. Attraverso a questi 40 Ω passa una corrente di 0,1 A e la tensione ai capi della resistenza da 10 Ω è di 1 V.

Fra i punti *a* e *b* non esiste perciò alcuna differenza di potenziale e anche lo strumento più sensibile posto fra questi due punti non indicherà alcun passaggio di corrente, perchè la corrente può passare fra due punti solo se fra essi esiste una certa differenza di tensione. La situazione sarebbe diversa se le due resistenze di destra volessero ciascuna 20 Ω poichè al punto *b* ci sarebbe una tensione di 2 V che farebbe passare una certa corrente in un amperometro collegato fra esso e il punto *a* che è ad una tensione di 1 V.

Un filo di costantana del diametro di 1/8 di mm e lungo 1 m ha una resistenza di circa 40 Ω (la costantana è una lega metallica con un'alta resistenza specifica).

Si possono quindi sostituire le due resistenze di 40 Ω totali delle fig. 19 con questo filo (fig. 20).

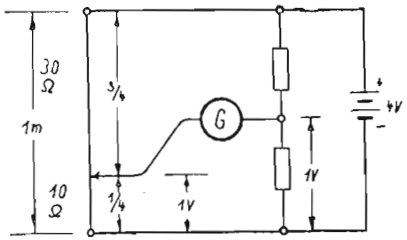

Fig. 20

Poichè ai suoi capi esiste sempre la tensione di 4 V, se noi con un cursore ci colleghiamo esattamente ad 1/4 di metro, troveremo ancora la tensione di 1 V. Nell'esempio della fig. 19 si ha 30/10 = 3/1. Se fossero note solo tre re-

sistenze del circuito, per esempio 1 Ω, 30 Ω e 10 Ω si potrebbe calcolare facilmente la quarta resistenza (x), perchè deve essere ancora $x/1 = 30/10$. Affinchè i conti tornino deve essere $x = 3\ \Omega$. Nella fig. 20, ammesso che il filo sia di diametro costante i valori della resistenza corrispondono alle lunghezze. Quindi se si pone una scala graduata dietro al filo teso e se si stabilisce che non passa più corrente nello strumento sensibile G (galvanometro) quando il cursore si trova ad ¼ della lunghezza totale, si può dire che la tensione di questo punto è uguale a quella del punto di collegamento fra le due resistenze x e 1 Ω e quindi deve essere ancora:

$$\frac{x}{1} = \frac{3/4}{1/4} = \frac{3}{1}$$

e x vale 3 Ω. In un'altro caso può darsi che, per annullare la corrente dello strumento G, occorra portare il cursore proprio a metà del filo (1/2), allora x deve essere uguale ad 1 Ω se si vuole che i conti tornino ancora.

Lo strumento è come un ponte che collega i due rami di resistenza e tutta l'apparecchiatura si chiama perciò *ponte di misura* o *ponte di Wheatstone*.

L'effetto magnetico della corrente

Si è abituati a vedere che la punta contrassegnata in blu (Nord) di un ago magnetico si dirige sempre verso il Nord terrestre e si sà anche che la causa di ciò è il magnetismo della terra che orienta la bussola lungo la *linee di forza* del proprio *campo magnetico*. Se si avvicina una bussola ad un conduttore attraverso il quale passi una forte corrente continua (per esempio il conduttore che in un posto di carica di accumulatori va alle batteria) ci si accorgerà subito che

la bussola assume una orientazione sbagliata. Se si collega attraverso un interruttore aperto una spira ad una grossa batteria e se si pone al centro della spira una bussola (fig. 21) si noterà — ammesso che non ci siano nelle vicinanze delle grosse masse di ferro — che l'indicazione dell'ago è ancora esatta. Chiudendo l'interruttore passerà nella spira una forte corrente nella direzione delle frecce (fig. 22) e si noterà che

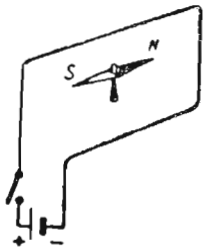

Fig. 21

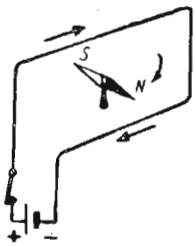

Fig. 22

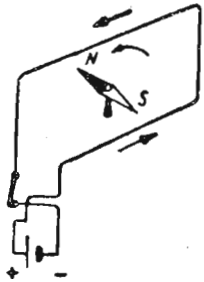

Fig. 23

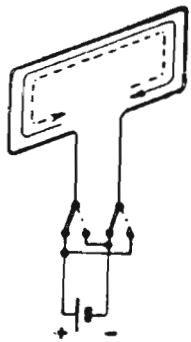

Fig. 24

l'ago magnetico viene deviato e il polo Nord viene diretto verso Est. Se si inverte il senso della corrente (fig. 23) si vedrà l'ago magnetico ruotare dall'altra parte. Se si inserisse un commutatore con il quale fosse possibile cambiare il senso della corrente quando l'ago ha raggiunto la posizione esattamente opposta a quella di partenza (fig. 24) si potrebbe, continuando a commutare la corrente al momento giusto, ottenere una rotazione continua dell'ago. Questo potrebbe essere considerato un motore elettrico rudimentale, infatti si potrebbe montare sull'asse dell'ago un sistema di trasmissione.

Una palla d'arma da fuoco che fende l'aria, vi provoca una modifica delle condizioni primitive; essa genera un rumore che viene percepito dall'orecchio come un fischio o un sibilo. Un elettrone o un numero più o meno grande

di elettroni, che passano come corrente elettrica attraverso un conduttore, provocano una modifica delle condizioni dell'ambiente circostante, come ha chiaramente dimostrato l'esperienza della bussola; essi variano in questo caso le condizioni magnetiche preesistenti, il campo magnetico primitivo; essi generano un proprio campo magnetico. È facile vedere che due fili vicini percorsi dalla stessa corrente nello stesso senso hanno sull'ago magnetico un'influenza maggiore di quella di un filo solo. Perciò avvolgendo molti fili in una matassa si può aumentare di molto l'effetto. Una tale bobina si comporta in modo perfettamente analogo a quello di una sbarra di acciaio magnetizzato: essa, a causa della corrente che la percorre, è diventata un magnete. Se si avvicina ad un magnete una sbarra di ferro non magnetizzata si nota che diventa magnetica anche questa, ed infatti si sa che si può costruire un magnete molto potente se si avvolge una bobina attorno ad una sbarra di ferro e se si fa passare una corrente in questa bobina. Questo principio è utilizzato in mille casi dalla tecnica: basta pensare per esempio alle molte fabbriche in cui per sollevare dei pezzi in ferro si usano degli enormi elettromagneti. Ma voi potete trovare un elettromagnete anche a casa vostra (fig. 25). Infatti nel campanello elettrico si usa proprio un elettro-

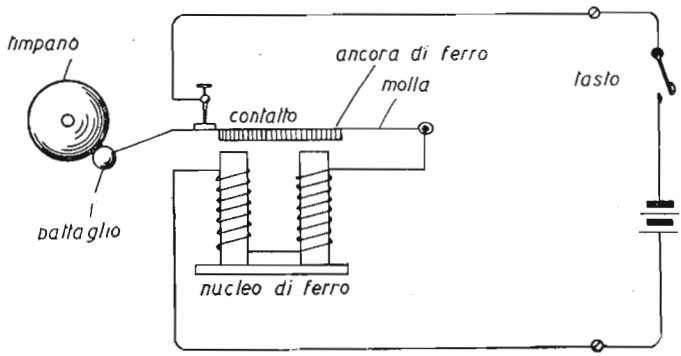

Fig. 25

magnete. Premendo il tasto viene chiuso il circuito comprendente la batteria, le bobine sul nucleo di ferro e i due contatti chiusi, il nucleo si magnetizza e attira l'ancora di ferro che si trova davanti ad esso, i due contatti si aprono e interrompono la corrente. Quindi la molla può nuovamente staccare l'ancora dal nucleo, i contatti chiudono nuovamente, l'ancora viene riattirata e così di seguito, fino a che il tasto resta premuto. Perciò il battaglio batte sul campanello che « suona ».

Questo sistema si chiama anche « vibratore ».

Nelle fig. 21-24 è naturalmente indifferente che la bobina sia ferma e che possa muoversi l'ago che viene ruotato dal campo magnetico della bobina, quando questa è percorsa da corrente, oppure che l'ago magnetico sia fisso e che la bobina sia sospesa in modo mobile. In questo caso sarà la bobina diventata magnete che sarà messa in rotazione del campo magnetico dell'ago fisso e se, con un dispositivo simile a quello della fig. 20, si riesce a invertire al momento giusto la direzione della corrente si potrà mettere la bobina in rotazione continua. Si può usare per un tale motore elettrico al posto dell'ago magnetico che ha un campo molto debole o un potente magnete permanente (fig. 26) dotato di espansioni polari o anche una bobina con nucleo di ferro. È chiaro che se si potesse mandare nella bobina una corrente che si inverte essa stessa ad intervalli regolari di tempo si potrebbe lasciare da parte il sistema di commutazione delle fig. 24.

Questi fenomeni possono essere utilizzati oltre che per ottenere una rotazione anche per altri scopi. Imperniamo al centro una sbarretta magnetizzata e applichiamo ad essa un indice (fig. 27), portiamo vicino ad essa una bobina; se in questa passa della corrente essa diventa un magnete e attrarrà una estremità della sbarretta mentre respingerà l'altra e tutto l'insieme potrà servire come indicatore di corrente (*galvanoscopio*); esso puo servire anche come indicatore della direzione della corrente, perchè, quando la cor-

rente viene invertita, si scambiano le polarità della bobina e l'indice viene ruotato dall'altra parte.

Anche qui si possono scambiare, come abbiamo visto prima, le posizioni: si può tenere fisso il magnete e rendere la bobina provvista di indice girevole attorno ad un asse (fig. 28). Affinchè essa non riceva degli urti troppo forti

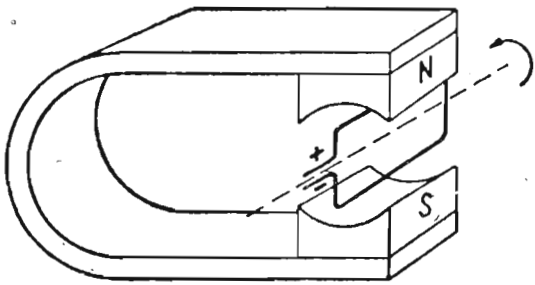

Fig. 26

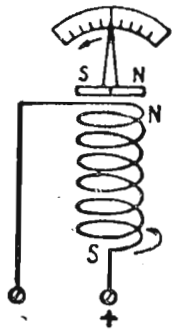

Fig. 27

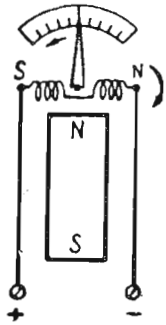

Fig. 28

all'inserzione della corrente, essa viene frenata da due molle sottili a spirale che servono da collegamento elettrico.

Essa percio si allontana dalla posizione di riposo tanto più quanto più forte è la corrente e quindi il campo magnetico.

Questi « *strumenti a bobina mobile* » vengono costruiti anche per correnti molto piccole, essi hanno delle bobine molto leggere ed un magnete sul tipo di quello della fig. 26. Con essi è possibile misurare anche correnti di 1/1.000.000.000 di A. Allora essi si chiamano *galvanometri*. I tipi un po' meno sensibili che misurano i milionesimi di A si dicono *microamperometri* e quelli per correnti dell'ordine dei mA *milliamperometri*. Gli strumenti meno sensibili ancora si chiamano *amperometri*.

A noi interessa conoscere in particolare le possibilità di impiego di tali strumenti nella radiotecnica. La corrente da misurare deve attraversare lo strumento (*A* della fig.

29*a*). Se per esempio si vuole misurare la corrente fornita da una batteria *B* ad una lampada *Gl* occorre « inserire » lo strumento nel circuito (*A* della fig. 29*b*).

Fig. 29 a)

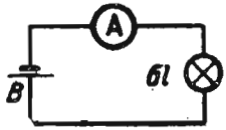

Fig. 29 b)

Lo strumento può essere usato anche in modo diverso. Supponiamo di avere un milliamperometro (mA) ed una resistenza (*R*) di valore noto collegati in serie su una batteria di tensione incognita (fig. 30). Supponiamo che passi una corrente di 2 mA (0,002 A) e che la resistenza *R* abbia un valore di 2 kΩ (2000 Ω), la tensione deve essere quindi uguale a 0,012 × 2000 = 4 V. Perciò lo strumento a bobina mobile può servire come voltmetro se si impiega una *resistenza aggiuntiva* in serie ad esso. In questo caso esso deve

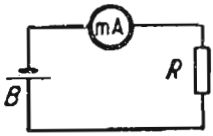

Fig. 30

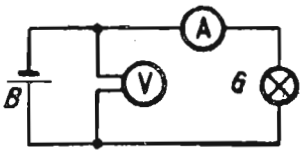

Fig. 31

avere una resistenza interna possibilmente alta, deve cioè aver bisogno di una corrente molto piccola e perciò di una resistenza *R* elevata, invece nell'amperometro la resistenza interna deve essere naturalmente piccola in modo che ai suoi capi non ci sia mai una caduta di tensione molto forte. La fig. 31 mostra l'esatta inserzione del voltmetro e dello amperometro.

Vogliamo ora mettervi in guardia contro un errore che viene commesso abbastanza spesso. Sugli accumulatori si trova scritto per esempio « 24 amperora con scarica di 1 A ». Ciò significa che dall'accumulatore si può derivare una corrente di 1 A per 24 ore o una corrente di 0,5 A per 48 ore ecc. Uno potrebbe ora porsi la domanda: « quanti ampere ha in realtà la batteria? », e per rispondere a questa domanda potrebbe essere tentato di collegare un amperometro ai morsetti dell'accumulatore. Le conseguenze sarebbero molto spiacevoli. Come abbiamo già detto in precedenza l'intensità della corrente dipende dalla resistenza applicata ai morsetti e dalla resistenza interna della sorgente. Se quindi si collega un amperometro con la sua bassa resistenza propria si avrà una corrente quasi uguale a quella di cortocircuito e se lo strumento non ha una portata sufficiente si brucerà.

D'altra parte se si usa uno strumento per correnti molto alte l'accumulatore viene praticamente messo in cortocircuito e quindi danneggiato.

Degli altri tipi di strumenti diciamo solo alcune parole, perchè non hanno molta importanza per noi. *Gli strumenti « a ferro dolce »* impiegano una bobina fissa e un'ancora in ferro dolce che con il passaggio della corrente viene attirata nella bobina ed il cui movimento è più o meno frenato da una molla. La trasmissione dello spostamento all'indice avviene con un gioco di leve. Negli *strumenti a « ferro mobile »* si trovano all'interno della bobina mobile due pezzi di ferro affacciati, uno di questi è fisso e l'altro è mobile. Quando nella bobina passa una corrente essi si magnetizzano ambedue e si respingono. Anche questo movimento deve essere trasmesso all'indice. Questi tipi di strumenti non sono molto adatti per le piccole correnti, perciò essi vengono impiegati più raramente degli strumenti a bobina mobile anche per le misure di tensione.

Se si collegano due resistenze di 4 e 40 Ω in parallelo ai morsetti di una batteria da 4 V, passerà (vedi fig. 19) at-

traverso la resistenza maggiore una corrente di 0,1 A e attraverso la minore 1 A. La corrente vale in totale 1,1 A, il che si può anche calcolare determinando prima il valore equivalente delle due resistenze in parallelo e dividendo 4 V per questo numero. Il rapporto fra le correnti è uguale allo inverso del rapporto delle resistenze 0,1/1 = 4/40 = 1/10.

Noi possiamo dedurre da ciò le conclusioni seguenti: se si vuole far passare in una resistenza una corrente determinata e se si suppone che la corrente che ci si aspetta è molto superiore (per es. 1,1 A), si deve collegare in parallelo alla resistenza un'altra resistenza che deve deviare la corrente in più (in questo caso 1,1 — 0,1 = 1 A). Questa resistenza ausiliaria si chiama « derivazione » o « shunt ». Supponiamo di avere uno strumento (fig. 32) con una re-

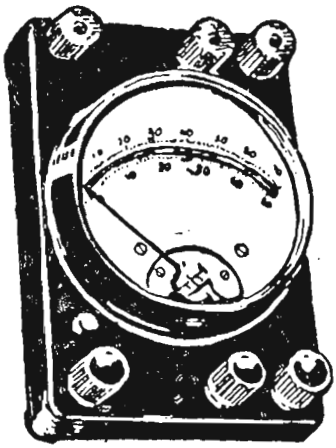

Fig. 32

sistenza della bobina mobile di 50 Ω e con una corrente di fondo scala di 2 mA e si desideri misurare con questo una corrente di 12 mA. Perciò si deve deviare con uno shunt in

parallelo sullo strumento una corrente di 10 mA (fig. 33). Affinchè sia soddisfatta l'uguaglianza dei rapporti delle

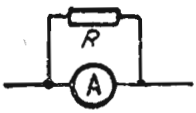

Fig. 33

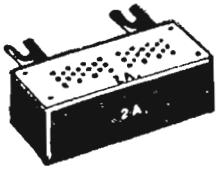

Fig. 34

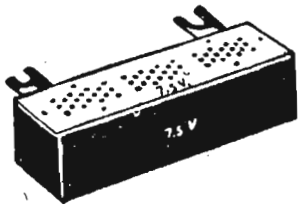

Fig. 35

resistenze e delle correnti deve essere $x/50 = 2/10$ e la resistenza di derivazione (R) deve valere nel nostro caso 10 Ω.

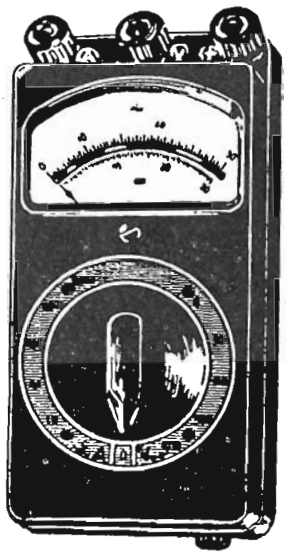

Fig. 36

In questo modo è sempre possibile calcolare il valore adatto dello shunt per qualsiasi valore della corrente da

misurare e perciò allargare in modo corrispondente la portata dello strumento come viene fatto per esempio nei numerosi strumenti di misura universali che hanno più portate che si ottengono con delle resistenze esterne da applicare ai morsetti (fig. 34) o con delle resistenze interne inserite da un commutatore.

Negli amperometri il campo di misura si varia quindi con delle resistenze in derivazione; nei voltmetri le variazioni si possono ottenere in modo analogo con l'impiego di resistenze di preinserzione (per esempio fig. 35 per lo strumento di fig. 33). In uno strumento con una resistenza interna di 50 Ω ed una corrente di fondo scala di 2 mA si ottiene un campo di misura fino a 2 V preinserendo una resistenza di 1000 — 50 = 950 Ω; con una resistenza di 1.000.000 — 50 = 999.950 Ω il campo di misura si estende sino a 2000 V. Gli strumenti universali moderni hanno diverse portate sia per le correnti che per le tensioni (fig. 36) ed un commutatore incorporato collega le dovute resistenze di shunt e di preinserzione.

Il campo magnetico della corrente

È noto che una calamita attira gli oggetti in ferro ed in nichel, essa attira quindi anche delle piccole particelle di ferro, per esempio della limatura. Se si pone sopra l'estremità di una calamita un cartoncino e se si sparge su questo della limatura di ferro si osserva che battendo leggermente il cartoncino la limatura tende a disporsi in cerchi concentrici (fig. 37 e 38). Ripetendo lo stesso esperimento con una

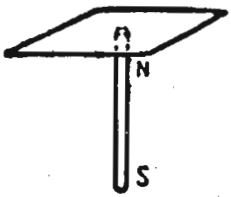

Fig. 37

Fig. 38

calamita a ferro di cavallo si noterà che le particelle di ferro tendono a disporsi lungo linee che vanno da un polo all'altro (fig. 40). Le particelle di limatura si dispongono lungo le cosidette *linee di forza del campo magnetico.*

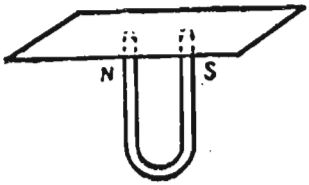

Fig. 39

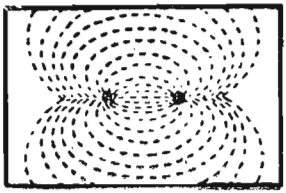

Fig. 40

È facile verificare che queste linee non esistono solo nel piano ma che circondano i poli da tutte le parti. Si vede fra l'altro che le particelle più grosse in vicinanza dei poli tendono a raddrizzarsi.

Se si infila un conduttore attraverso un cartoncino con della limatura di ferro si vede che le particelle non ne sentono alcuna influenza, se però si fa passare una corrente molto forte si osserva un fenomeno simile a quello della calamita rettilinea (fig. 38). Se si piega il filo in un doppino e si fa passare l'andata e il ritorno attraverso il cartoncino (fig. 42) si ottiene una disposizione simile a quella del ma-

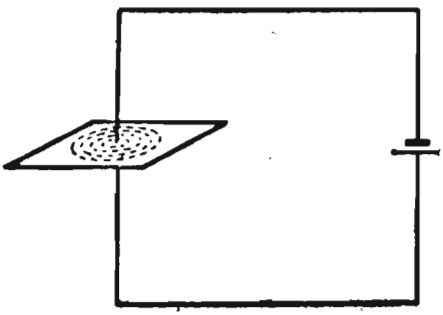

Fig. 41

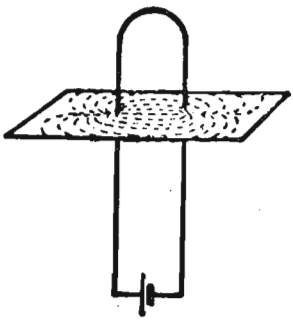

Fig. 42

gnete a ferro di cavallo. Questa è una seconda dimostrazione del fatto che un conduttore percorso da corrente ha lo stesso comportamento di una calamita.

La corrente indotta

Noi abbiamo imparato a conoscere nella fig. 2a e seguenti le forze esercitate da un conduttore percorso da corrente sull'ago magnetico della bussola. L'ago magnetico viene orientato nella direzione Nord-Sud dalla forza del magnetismo terrestre e se si vuole farlo deviare da questa posizione occorre applicare una certa forza. Ci si può convincere di ciò anche con un'altro esperimento: mettiamo una calamita sul tavolo e teniamo sospesa con un filo poco al di sopra di essa un'altra calamita. Quest'ultima si disporrà con il proprio polo Nord al di sopra del polo Sud della calamita fissa e con il polo Sud sopra al polo Nord. Se ora tentiamo di ruotare da questa posizione la calamita mobile ci accorgeremo subito della resistenza che essa oppone alla forza da noi esercitata — è proprio giusto parlare di linee di forza magnetiche.

La natura è congegnata in modo che l'energia non va mai persa. Un conduttore percorso da corrente genera nel suo intorno un campo magnetico che supera il campo magnetico terrestre e che quindi fa ruotare l'ago magnetico. Un filo avvolto in più spire (bobina) esercita una influenza maggiore di quella di un filo solo. Se però nel filo o nella bobina non passa alcuna corrente e si vuole girare l'ago con la mano si deve impiegare una certa forza per vincere il magnetismo terrestre. Potrebbe sembrare a prima vista che il lavoro compiuto da questa forza sia sparito senza lasciare traccia. Si può però dimostrare con una esperienza leggermente diversa che questa conclusione è falsa. Chiudiamo le estre-

mità di una bobina su un amperometro molto sensibile (galvanometro G) e avviciniamo alla bobina una calamita a ferro di cavallo (fig. 43), si noterà che il galvanometro

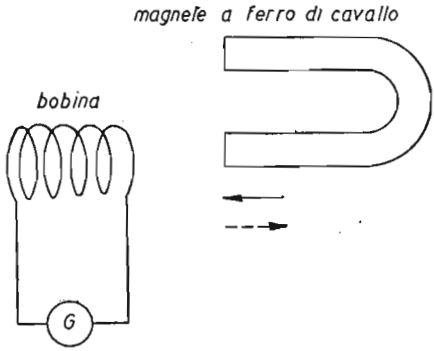

Fig. 43

indica una corrente (l'esperimento riesce anche con lo strumento da 2 mA di fondo scala della fig. 32, una calamita abbastanza potente e una bobina con 30-40 spire).

Se si riallontana la calamita, si genera nuovamente una corrente che però ha una direzione opposta a quella di prima. Quando la calamita è ferma non si ha alcuna corrente, indipendentemente dalla sua posizione. Se il movimento è rapido l'indice si sposta di molto e la corrente è quindi alta, se il movimento è lento la corrente è più bassa.

Da questo esperimento si possono trarre alcune considerazioni. Ci troviamo in presenza di un rudimentale sistema di trasmissione elettromeccanica: per muovere la calamita si deve usare una forza e questa forza viene trasmessa all'indice dello strumento di misura (infatti il movimento dell'indice è contrastato da una molla). Inoltre la corrente che passa per la resistenza interna dello strumento è solo un fatto secondario, poichè una corrente può passare fra due punti determinati solo se esiste fra loro una certa

differenza di tensione. Anche la bobina ha la propria resistenza e poichè essa serve ora come sorgente di corrente per lo strumento, che rappresenta la « resistenza esterna », si può considerare la sua resistenza come « resistenza interna » di questo nuovo tipo di sorgente. Da essa dipenderà quindi la tensione ai morsetti, si dice perciò che il movimento del magnete non genera una corrente o una tensione ma che provoca o meglio « *induce* » una forza elettromotrice (vedi fig. 26).

È importante ricordare che deve sempre esserci un movimento, una bobina e una calamita immobili non inducono alcuna f.e.m.; solo se la calamita viene mossa rispetto alla bobina o — il che è lo stesso — la bobina viene mossa rispetto alla calamita si genera una f.e.m.

Fra i poli del magnete esistono delle linee di forza che durante il movimento tagliano le spire della bobina (o sono da queste tagliate). Il moto delle linee di forza rispetto alle spire della bobina è la vera causa della f.e.m. indotta.

Per muovere il magnete occorre applicare una certa forza per un certo tratto, quindi occorre compiere del lavoro perciò — come abbiamo già detto prima — la corrente elettrica generata da questo lavoro deve compiere dell'altro lavoro. Più lavoro si esegue in un secondo e più alta è la potenza e poichè dal punto di vista elettrico la potenza è uguale alla corrente per la tensione è facile spiegare, perchè un movimento lento del magnete dà origine ad una corrente bassa (piccola potenza, piccola f.e.m., piccola tensione ai morsetti, e perciò anche piccola corrente e piccola potenza elettrica) ed un movimento rapido una corrente alta (grande potenza, grande f.e.m. grande tensione ai morsetti e perciò anche alta corrente e alta potenza elettrica).

Corrente alternata - Frequenza

Parlando delle esperienze con l'ago magnetico e la spira percorsa da corrente si era già detto che si poteva fare girare con continuità l'ago se si fosse stati tanto abili da invertire il senso della corrente al momento giusto. In questo caso la corrente che percorre la spira ha un senso che si inverte a regolari intervalli di tempo e viene generata da una f.e.m. di polarità continuamente invertita. Invece la corrente che percorre un filo collegato ai morsetti di una batteria ha sempre la stessa direzione. Quest'ultima corrente si chiama *corrente continua* (il segno corrispondente è — o =) e la tensione che la provoca si chiama tensione continua, invece nel primo caso si parla di *corrente alternata, tensione alternata* e *f.e.m. alternata* (il segno è ~). Con l'esperimento della fig. 43 allontanando e avvicinando il magnete si genera nella bobina una *f.e.m. alternata.*

Se si potesse appendere il magnete al pendolo di un orologio si potrebbe indurre con continuitá un f.e.m. alternata nella bobina e si potrebbe far passare la corrente alternata corrispondente in un circuito chiuso. La corrente alternata generata in questo modo ha certamente delle caratteristiche diverse da quelle della corrente ottenuta con l'inversione delle polarità della batteria.

Quando il magnete si trova ad una certa distanza della bobina, questa è tagliata da poche linee di forza, quindi si genera in essa una f.e.m. piccola e in un circuito chiuso sui suoi morsetti passerà una corrente bassa. Quando il magnete si avvicina alla bobina, aumenta il numero delle linee di forza che tagliano le spire della bobina (vedi fig. 40) e cresce la f.e.m. e la corrente. Se si pensasse solo al numero di linee

di forza tagliate dalle spire della bobina si dovrebbe dire che la f.e.m. aumenta sempre fino a che il magnete è nella posizione più vicina alla bobina e che il senso della f.e.m. si inverte istantaneamente quando il magnete inverte il suo moto e si allontana dalla bobina. Si è però dimenticato di osservare che la velocità del pendolo non è sempre la stessa. Un'osservazione più attenta ci dice che la velocità del pendolo è massima quando esso passa per la sua posizione di riposo; quando esso si avvicina alle posizioni estreme laterali la sua velocità diminuisce sempre più, fino a che sembra fermarsi per un istante e poi inizia la corsa di ritorno. Poichè la f.e.m. dipende dalla velocità con cui avviene il moto relativo fra il magnete e la bobina, si ha che la f.e.m. dapprima cresce poi diventa più piccola fino ad annullarsi e poi al ritorno del pendolo comincia a crescere nel senso opposto, raggiunge un massimo, diminuisce fino a diventare nulla, quando il magnete ha raggiunto l'altra posizione estrema dove si ferma per un breve istante.

Poi, quando il pendolo riprende ad oscillare la f.e.m. e la corrente assumono la direzione primitiva.

Il moto del pendolo viene chiamato « oscillazione », perciò si parlerà anche qui di corrente oscillante. Il pendolo compie un'oscillazione o un ciclo quando partendo dalla posizione di riposo si porta in una posizione estrema laterale ripassa per la posizione di riposo, va nell'altra posizione estrema laterale e torna nella posizione di riposo. Perciò si può parlare di oscillazione o di *ciclo* anche per la tensione generata in questo modo: essa parte da zero cresce fino al valore massimo in una certa direzione, diminuisce fino a zero, cresce nella direzione opposta e ritorna nuovamente a zero.

Non è certamente indifferente che la corrente compia una oscillazione in un secondo oppure che ne compia 50 o 500.000 nello stesso tempo. Si deve perciò trovare una unità generale con la quale esprimere quante oscillazioni avvengono

in un secondo, sia che si tratti delle oscillazioni del pendolo che di quelle della corrente.

Una oscillazione al secondo si chiama hertz (Hz), e perciò mille oscillazioni al secondo un kiloherz (kHz) e un milione di oscillazioni al secondo un megaherz (MHz). Nei paesi anglosassoni l'oscillazione si chiama ciclo e perciò si parla di cicli al secondo o semplicemente di cicli. Qualche volta si usa anche l'espressione: periodi al secondo.

Il numero di oscillazioni al secondo è quella grandezza che si chiama « *frequenza* ». Perciò quando le oscillazioni sono poche si parla di *bassa frequenza* (BF) e quando sono tante di *alta frequenza* (AF) e quando sono più ancora di *altissima frequenza* (VHF). Le frequenze degli strumenti musicali, della voce umana, ossia le frequenze con cui questi organi fanno vibrare l'aria che porta al nostro orecchio queste oscillazioni si chiama *frequenza fonica*. Per le basse frequenze si usa di solito il segno ~, per le medie ∽ e per le elevate ∽∽.

La tracciatura delle oscillazioni

Osservando attentamente il moto di un pendolo molto lungo e quindi molto lento si può notare che esso ha la massima velocità quando passa per la posizione di riposo (centrale) e che il moto diventa più lento in prossimità delle posizioni estreme. Osservando un pendolo più corto e quindi più veloce non è più possibile fare questa constatazione. Inoltre anche nel primo caso non si può dire con esattezza come avvenga tutto il movimento. Bisognerebbe costruire un diagramma. Ciò si può fare applicando al pendolo una matita che scrive su un nastro di carta che scorre sotto al pendolo con una velocità assolutamente costante. In questo modo non solo si è disegnato il moto del pendolo (se la carta

è ferma la matita segna un segmento) ma si è altresì ottenuto un suo sviluppo rispetto al tempo. Supponiamo di avere disegnato in questo modo il moto del pendolo su un nastro che si muove alla velocità di 1 metro al secondo e che su un nastro lungo 2 metri si abbia una curva come quella della fig. 44, essa in base alle spiegazioni precedenti corrisponde a due cicli completi. Ora si possono studiare sul diagramma le singole fasi del movimento. Poichè è nota la velocità del nastro (1 m al sec che si scrive anche 1 m/sec) è facile stabilire anche la frequenza: nel caso della fig. 44 essa vale

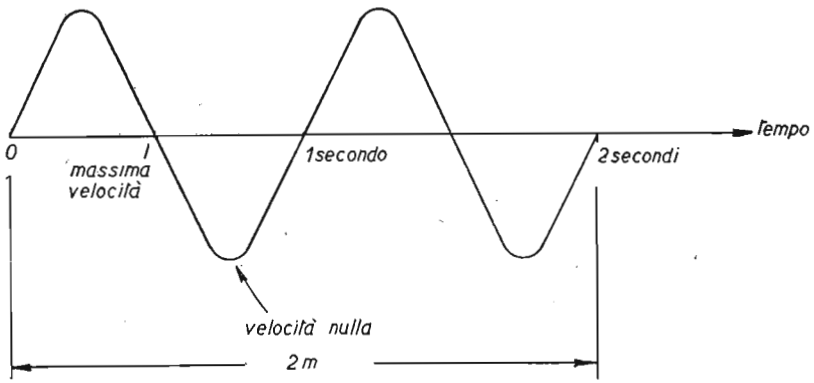

Fig. 44

1 Hz. Se il nastro avesse avuto una velocità di 50 m/sec e se si fosse ottenuta la stessa curva della fig. 44 la frequenza sarebbe stata di 50 Hz ecc.

Supponiamo ora che il sistema della bobina e del magnete sia costituito in modo che la bobina sia molto piccola rispetto al magnete, che questo oscilli con una piccola ampiezza e che la bobina si trovi fra i poli del magnete, quindi il numero di linee di forza che taglia le spire della bobina è praticamente sempre lo stesso. Perciò durante l'oscillazione del pendolo quel che varia è solo la velocità. Quindi la f.e.m. generata nella bobina deve avere nel tempo lo stesso anda-

mento del moto del pendolo; se si applicasse una matita all'indice dello strumento che indica la corrente e se si facesse scorrere sotto ad essa un nastro di carta si otterrebbe sempre una curva simile a quella della fig. 44 (fig. 45).

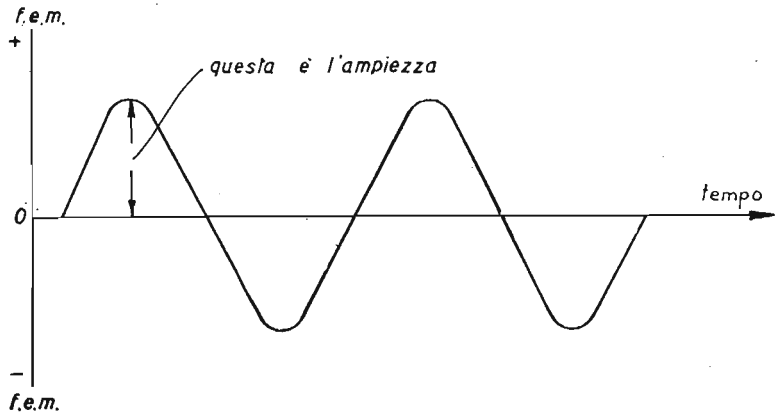

Fig. 45

La f.e.m. che è la causa della corrente puo essere dedotta dallo « spostamento » dell'indice e quindi dall'andamento della curva. Il valore massimo della f.e.m. sia nella direzione positiva (+) che in quella negativa (—) si chiama « ampiezza ». Gli *strumenti registratori* scriventi vengono utilizzati spesso anche nella pratica per registrare l'andamento nel tempo di una grandezza qualsiasi (per esempio la potenza prodotta in un giorno in una centrale elettrica). Per eliminare l'inconveniente dell'attrito della matita sulla carta si usa spesso per la registrazione di correnti e tensioni oscillanti al posto della matita un raggio di luce e al posto della carta una pellicola fotografica.

Gli strumenti sono sempre a bobina mobile ma hanno al posto dell'indice uno specchietto che devia il raggio dalla posizione di riposo quando la bobina si muove. Questi registratori di oscillazione si chiamano anche « oscillografi ».

Negli « oscillografi a raggi catodici » si impiega come punta scrivente un fascio di elettroni.

Come abbiamo già detto prima l'andamento della corrente alternata della fig. 24 è diverso da quello della corrente ottenuta con il pendolo oscillante. Infatti all'inserzione essa assume un certo valore costante e all'inversione essa

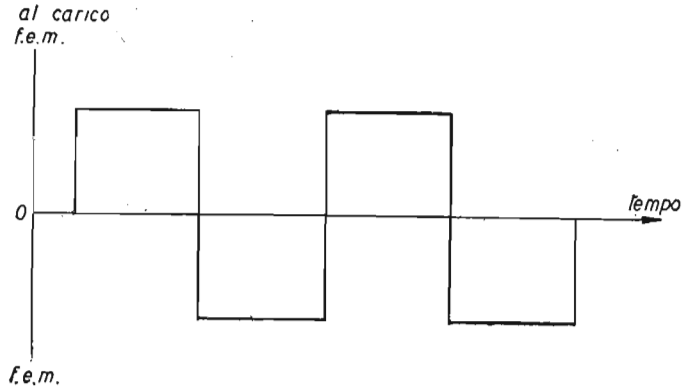

Fig. 46

assume lo stesso identico valore nella direzione opposta. Supponendo che i tempi di commutazione siano infinitamente piccoli si ottiene l'andamento della fig. 46.

Per la consultazione.

Alla fine del quinto opuscoletto di questa serie esiste un indice analitico di tutte le materie trattate. Esso è molto utile per la consultazione.

L. 550